La démarche scientifique

Réflexions et propositions d’activités

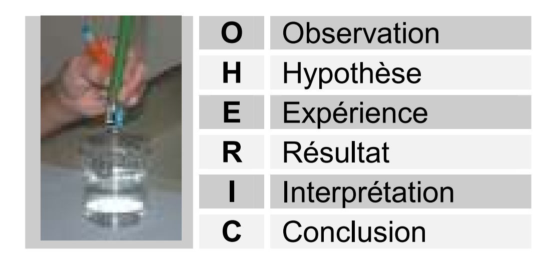
Adeline Bardou – 2010

Table des matières

« Le but des enseignants devrait être de fabriquer des emmerdeurs. »
Albert Jacquard
« L'esprit vraiment scientifique : le doute, la liberté d'esprit et d'initiative, la non-soumission à l'autorité des croyances. »
Claude Bernard

1. Faire des expériences…

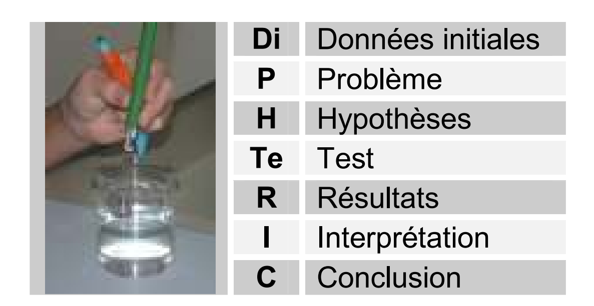
Faire des expériences, c'est bien… mais «surtout ne pas confondre expérience et manipulation ! Faire la vaisselle c'est une manipulation, pas une expérience… (sauf pour certains !) »[1]
La démarche scientifique se limite-t-elle à faire des expériences ? Il est utile de distinguer trois types de démarches souvent confondues : expérimentale, scientifique et d'investigation.
La démarche scientifique est une suite d'actions visant à comprendre le réel. Pour répondre à une question, issue de l'observation du réel, des hypothèses sont testées puis infirmées ou confirmées ; de cette confirmation naît alors une théorie ou un modèle. L'expérimentation est un des moyens de tester une hypothèse, au même titre que l'observation ou la documentation. **La démarche expérimentale** est donc une manière d'effectuer une étape d'une démarche scientifique. C'est la manière prônée dans l'enseignement des sciences et formalisée sous le sigle figé de OHERIC (**fig. 1**).



O	Observation
H	Hypothèse
E	Expérience
R	Résultat
I	Interprétation
C	Conclusion

Figure 1 : OHERIC

Cette démarche hypothético-déductive fut présentée par le médecin français Claude Bernard dans son ouvrage *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* en 1865, avec l'étape supplémentaire de la pose du problème à résoudre. Cariou propose en 2003 un sigle plus complet : DiPHTeRIC[2] (**fig. 2**).



Di	Données initiales
P	Problème
H	Hypothèses
Te	Test
R	Résultats
I	Interprétation
C	Conclusion

Figure 2 : DiPHTeRIC

Aucune démarche scientifique réelle ne fonctionne linéairement selon l'un ou l'autre sigle, mais l'esprit effectue des va-et-vient entre les étapes. Il s'en suit que ces sigles sont maintenant décriés en didactique des sciences, avec des raisons très valables (« OHERIC ne répond plus », « Haro sur OHERIC ! »[1]). Il reste que dans la réalité, les élèves confondent souvent expérience et résultat, résultat et conclusion, hypothèse et problème,… Quelques

[1] Cariou J.-Y., 2007, *Un projet pour faire vivre des démarches expérimentales*, Delagrave

[2] Cariou J.-Y. , 2003, *La formation de l'esprit scientifique – trois axes théoriques, un outil pratique : DiPHTeRIC*, URL : http://svt.paris.iufm.fr/IMG/pdf/doc-37.pdf

balises[3], à l'instar de O, H, E, R , I ou C, peuvent être des points de repère utiles à l'élève qui navigue à vue dès qu'il est lancé sur l'océan de la recherche.
Une animation présente aux élèves ce qu'est la démarche scientifique à l'exemple des découvertes de Becquerel sur la radioactivité : http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/fr/jeunes/animation/LaDemarche/anim.html.
Plusieurs critères définissent la réalisation d'une véritable démarche scientifique : utilisation de faits comme base d'étude, utilisation d'échantillons témoin, répétabilité de l'expérience, pas de liaison à un dogme, réfutabilité,…
La démarche d'investigation repose sur le questionnement au sujet d'une situation problématique et les modes de recherche peuvent être variés : expérimentations, observations (par exemple en biologie ou en astronomie), documents ou modélisation.
L'expérimentation trouve sa place dans les deux types de démarche, tout en ayant des limites : éthique, séparation difficile des variables, impossibilité dans le cadre scolaire (vivant, astronomie,…)

La réalisation de démarches scientifiques par les élèves développe des savoirs, c'est ce que veut avant out l'enseignant de sciences ; mais elle implique tout autant des savoir-faire et des savoir-être. Elle permet de développer toutes les capacités transversales définies dans le PER :
collaboration : les démarches et les expériences sont souvent réalisées en groupes, au sein desquels les avis sont (souvent !) divergents ;
communication : elle est nécessaire au bon fonctionnement du groupe et se trouve valorisée dans la phase de communication des résultats, qui, même si elle intervient en dernier, n'en est pas moins inhérente au métier de chercheur ;
stratégies d'apprentissage : elle sont (ou doivent être !) développées dans les différentes étapes de la démarche ainsi que dans les allers-retours entre les étapes ;
pensée créatrice : même s'il n'y a rien d'artistique, quelle dose de créativité faut-il au moment de mettre au point le protocole de recherche ? …
démarche réflexive : la confrontation des résultats à ses hypothèses de départ implique cette démarche.

D'autres diront que la démarche scientifique développe la persévérance, la curiosité, l'esprit critique, la rigueur, le respect de la vie et du matériel… donc il n'y a plus qu'à se lancer ! Et en plus, cela motive les élèves et les rend actifs, quoi de mieux ! Oui, mais… Richoux et Beaufils ont analysé des travaux pratiques de physique pour arriver à la « conclusion […] que la transposition se caractérise par un expérimental réduit à de l'instrumental, et du quantitatif réduit au numérique. »[4] Pour éviter que les élèves fassent des expériences comme ils cuisinent, en suivant la recette, il s'agit de faire remonter cette démarche des mains, ou des yeux, jusqu'à la tête ! Donc de l'apprendre…et de l'enseigner.

Enseigner la démarche scientifique vise à développer l'esprit scientifique ; l'enseignant est aussi un passeur de savoirs scientifique, d'une culture scientifique ; or il est impossible de faire les deux à la fois ! Il est impossible aussi de faire toute la démarche tout le temps, mieux vaut alors de ne la réaliser que rarement mais vraiment. De plus, on ne peut pas tout déduire d'expériences et de démarches scientifiques, d'où un apport magistral encore nécessaire.
L'enseignement de la démarche scientifique peut se faire en mêlant trois aspects : l'enseignement par les étapes, l'immersion dans une démarche réelle du niveau des élèves et l'étude de démarches réalisées, à l'instar de travaux de l'histoire des sciences.

---

[3] Elles apparaissent dans la suite, annoncées par , et résument ce qui permet à l'élève de se situer dans la bonne étape de raisonnement. Elles sont reprises dans leur ensemble dans l'annexe 1.
[4] Richoux H. et Beaufils D., 2006, *Conception de travaux pratiques par les enseignants : analyse de quelques exemples de physique en termes de transposition didactique*, Didaskalia n°27

Avant de réaliser une démarche scientifique complète, les élèves doivent avoir le temps d'en découvrir et d'en acquérir les différentes composantes. C'est ce que propose le document ci-dessous, en suivant pour une raison de simplification le schéma OHERIC : chacune des étapes est présentée successivement, mais l'ordre de réalisation avec les élèves importe peu ; il vaut mieux adapter ce que chaque étape a de particulier au suivi du programme sans s'en tenir à l'ordre défini par le slogan. Pour chaque étape quelques suggestions d'activités sont proposées, avant tout en lien avec des séquences du programme valaisan de 2003 et les manuels Sciences 7e-8e-9e. Les activités sont reliées de préférence aux programmes de 7e et de 8e, en espérant qu'en 9e, les élèves aient déjà acquis les bases d'une démarche scientifique ! Les chapitres choisis sont de préférence adaptés au rythme de l'apprentissage de la démarche au cours de l'année, par exemple les résultats sont travaillés sur les chapitres 6 et 7 et pas sur le chapitre 1. Quand toutes les étapes auront été découvertes voire entraînées, quelques activités de compréhension globale de la démarche sont proposées, avant de lancer les élèves dans la réalisation d'une démarche scientifique complète, avec toutes les satisfactions qu'ils en tireront, et vous avec eux…

2. Introduction à la démarche scientifique

Avant d'explorer les étapes d'une démarche scientifique, une introduction avec les élèves permet de montrer qu'ils vont apprendre et utiliser une démarche autant que des contenus.
Cinq approches sont proposées :
- une discussion : « On obtient une bien meilleure récolte de blé quand il est semé en période de pleine lune. »
- un travail de dessin : « Dessinez-moi un scientifique. »
- un film et un questionnaire : « Le crime était presque parfait »
- une analyse d'images : « Où travaillent les scientifiques ? »
- une réflexion sur les caractéristiques d'une démarche scientifique : « Déterminer le volume d'une vache. »

Exemples d'activités

« On obtient une bien meilleure récolte de blé quand il est semé en période de pleine lune. »

Voici les réactions de cinq personnes à ce texte (notées A à E) :
A *Oui, c'est vrai, la graine aura germé un mois après, ce sera de nouveau la pleine lune et sa lumière favorisera la croissance de la jeune plante.*
B *C'est sûrement faux, comme bon nombre de croyances sur la lune.*
C *C'est vrai, on sait que la lune agit aussi sur les marées.*
D *Il faudrait planter du blé avec et sans pleine lune pour comparer.*
E *La germination est une naissance, comme pour nous elle dépend de la lune et des autres astres.*
Quelles sont les réactions qui te conviennent le mieux, et pourquoi ?

La discussion devra faire ressortir la supériorité de l'expérience et permettra de conclure qu'il faut savoir le faire. On peut enchaîner avec un questionnaire qui fait ressortir l'aspect démarche :

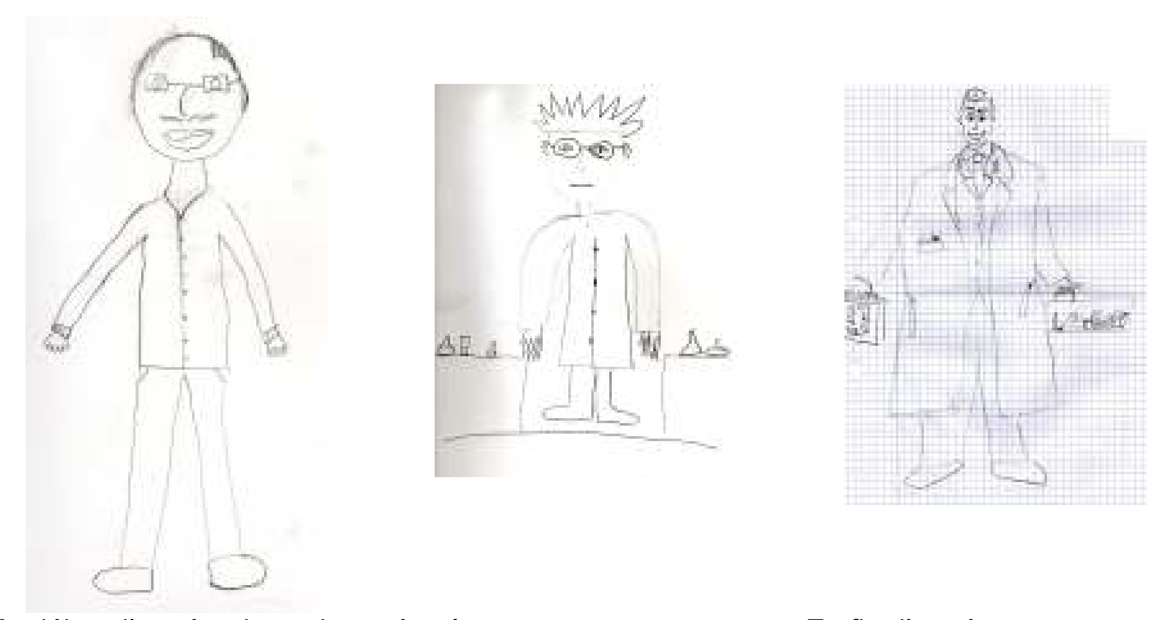
1. *Pourquoi les scientifiques font-ils des expériences ?*
2. *En classe, à quel moment est-ce la plus utile de faire une expérience ?*
3. *Dans quelles circonstances faire une expérience, ou connaître les expériences faites par d'autres peut-il être indispensable ?*
4. *On veut savoir recourir à des expériences* ***à bon escient*** *(au bon moment, pour de bonnes raisons) : que faut-il comme* ***préalable*** *avant de lancer une expérience ?*
5. *Une démarche expérimentale : peut-on la mener seul ? Si on travaille en groupe, quel intérêt cela peut-il présenter ?*

Et pourquoi pas ne pas profiter de la discussion pour mettre en œuvre l'expérience !

(*repris* et adapté de Cariou J.-Y., 2007, *Un projet pour faire vivre des démarches expérimentales*, Delagrave)

« Dessinez-moi un scientifique. »

En début d'année, demander aux élèves de dessiner un scientifique.
Pour votre intérêt, proposer à nouveau cette activité en fin d'année, pour évaluer si la conception du travail scientifique s'est affinée (voir **figure 3**).



En début d'année, de ceci…   à cela   En fin d'année

Figure 3 : "Dessinez un scientifique", exemples de dessins d'élèves (12-13 ans)

Pour information, ce travail ayant été réalisé dans 4 classes différentes, les caractéristiques suivantes ressortent des dessins : présence de matériel de laboratoire, présence de formules mathématiques ou chimiques, représentations d'idées (bulles,…), port de lunettes, coupe de cheveux « à la Einstein », genre du personnage. Le **tableau 1** présente l'évolution de ces caractéristiques entre le début de l'année scolaire et la fin, chez des élèves qui ont travaillé la démarche scientifique.

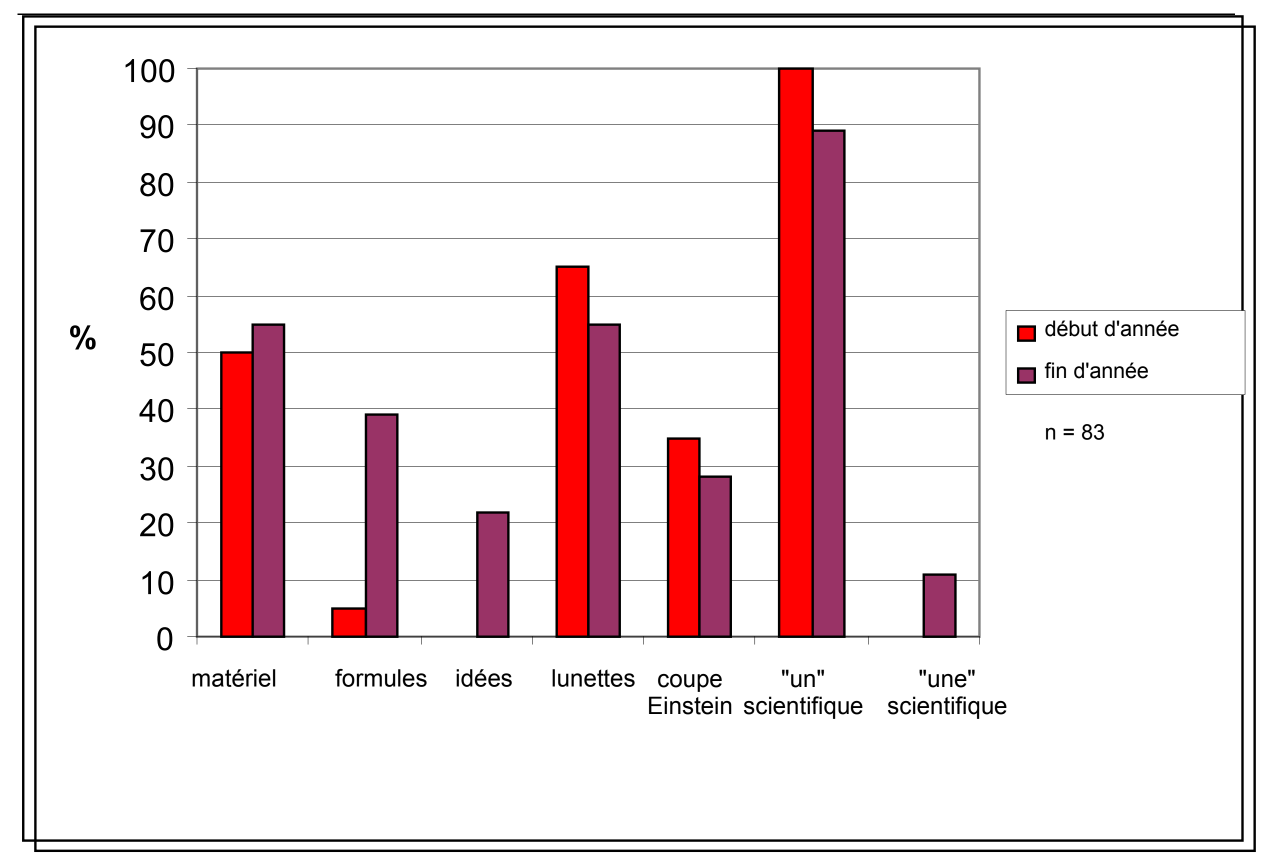


Tableau 1 : attributs d'un scientifique dans les dessins d'élèves

« Le crime était presque parfait »

En recherchant des informations dans un film et en répondant à un questionnaire, les élèves sont amenés à construire les étapes d'une démarche scientifique. Le film proposé est un épisode de « Superplantes » : *Le cri des arbres tueurs*, qui montre comment des scientifiques élucident le problème des acacias qui deviennent nuisibles quand la population de gazelles augmente.
Cette activité est proposée dans le cours d'Observation scientifique du CO Genève et peut être téléchargée sur
http://bdp.ge.ch/webphys/recherche/fichiers/OS/Commissi.activite.474.pdf

---

« Où travaillent les scientifiques ? »



En proposant une série d'images de scientifiques actuels ou anciens, réels ou fictifs, dans leur laboratoire, susciter la discussion pour amener le fait qu'un scientifique agit pour trouver les réponses à ses questions.

Figure 4 : Professeur Tournesol, un scientifique ?
Hergé, 1948*, Les 7 boules de cristal*, Casterman, Paris/Tournai

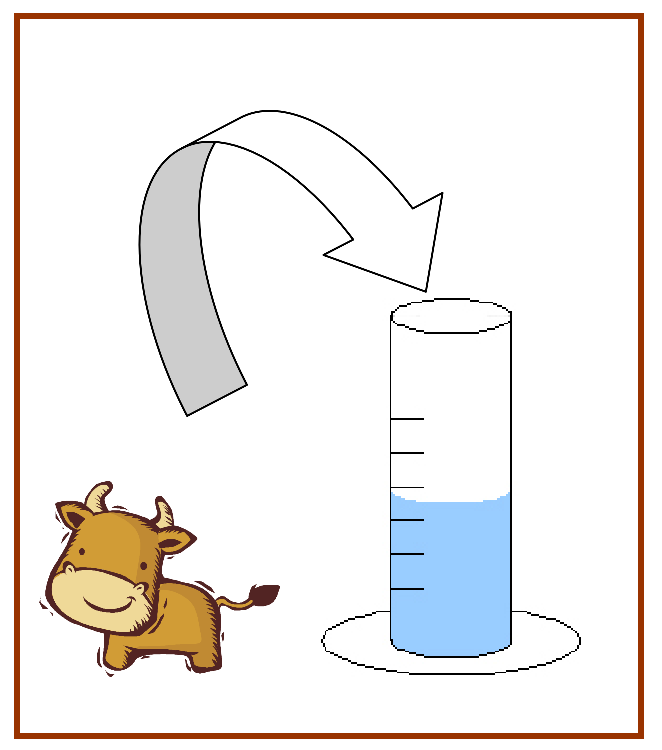
---

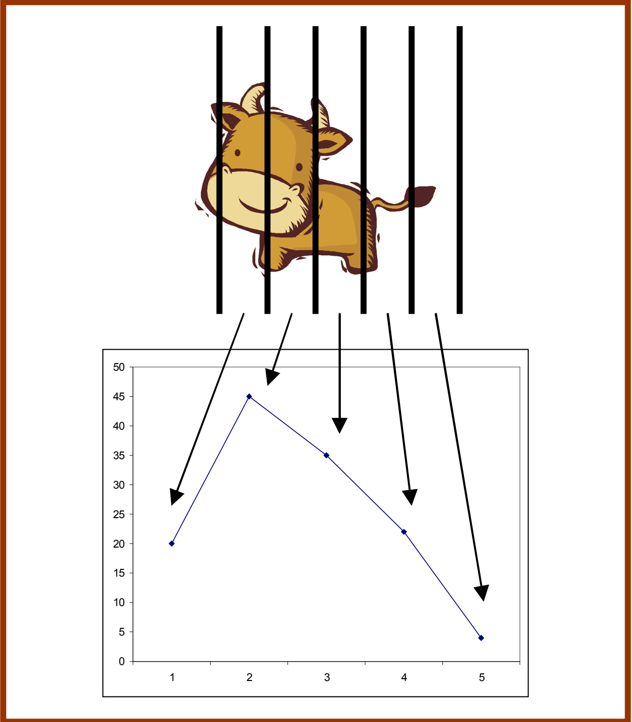
« Déterminer le volume d'une vache. »

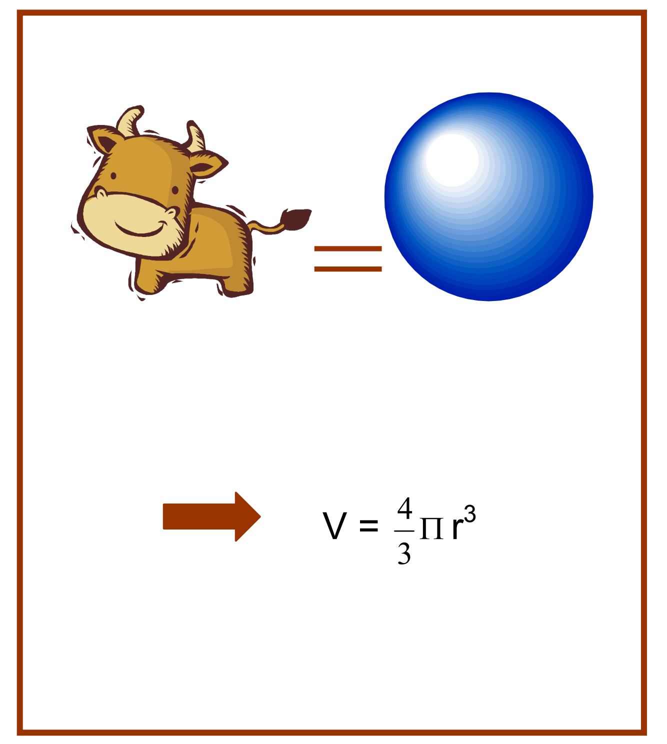
Soumettre les trois dessins (**fig. 5**) aux élèves pour leur demander quelle démarche le scientifique privilégierait.
La démarche peut être réalisée pratiquement, une pomme de terre remplaçant la vache…
Quelle démarche correspond à celle d'un physicien, d'un ingénieur ou d'un mathématicien ?
Adapté de Duda J., 2008, *Etude et propositions pour la classe de seconde générale et technologique*, Bulletin de l'Union des physiciens, vol 102.

Figure 5 (page suivante) : comment calculer le volume d'une vache ?


V
= ?




50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1
2
3
4
5


=
$V = \frac{4}{3} \Pi r^3$

3. L'observation

Le but de cette première étape est que l'élève se mette au travail, donne un sens à ce qu'il fait et se pose des questions…programme ambitieux qui peut laisser penser que le succès de la démarche réside à ce stade !
L'élève peut analyser une situation-problème[5] ou un cas tiré de l'histoire des sciences, observer un phénomène réel, ou simplement se poser une question. Tout ceci devrait perturber ses représentations (induction d'un conflit cognitif) tout en étant proche de ses préoccupations.
L'observation doit être attentive et concerner l'ensemble de l'objet ; elle se réalise à l'aide des organes sensoriels (voir §6), est imprécise et personnelle.
L'enseignant doit proposer des situations qui correspondent à des croyances erronées des élèves. Cela lui permet aussi de mettre en évidence les représentations et de collecter les conceptions initiales des élèves. Il doit avant tout étonner pour motiver.
Certaines activités du programme valaisan peuvent être utilisées dans ce but, en présentant les résultats comme moteur d'étonnement. Pour développer l'étape d'observation, des expériences sont présentées aux élèves et il est important qu'ils prennent note de leurs observations, des problèmes qu'elle soulève et des hypothèses, en les distinguant clairement : **ce que j'ai vu** (observation), **la question** que cela pose (problème) et **ce que j'imagine** par rapport à la question posée (hypothèse).

Exemples d'activités

Sciences 7e

Les gaz ont-ils une masse ? (act.2, chap.6, p.49) Réaliser l'expérience et laisser les élèves discuter des causes possibles de la diminution de la masse de la bouteille d'eau gazeuse après l'agitation. L'activité peut être complétée par l'expérience de récupération de gaz (p.48) puis par l'identification du gaz avec de l'eau de chaux.
Que contient une eau minérale ? (act.1, chap.7, p.56) Réaliser l'expérience et laisser les élèves discuter de la nature possible du dépôt blanc dans le tube après la vaporisation de l'eau. Une recherche documentaire peut valider ou infirmer rapidement les hypothèses des élèves.
Qu'est-ce qu'une solution ? (act.1, chap.8, p.64) Présenter aux élèves 3 béchers contenant chacun une solution d'eau salée, un mélange d'eau et d'une pincée de sable et une solution saturée d'eau salée. Dire que deux béchers contiennent du sel et un du sable et demander des les identifier. Une relance consisterait à ajouter un bécher avec une grande quantité de sable (égale à celle du sel de la solution saturée). A partir de cela, les élèves peuvent réaliser une démarche scientifique complète, en réalisant les expériences qu'ils proposent pour tester leur choix. Il est possible aussi de s'arrêter à l'étape d'émission d'hypothèses justifiées pour enchaîner sur la théorie des solutions.

Sciences 8e

La circulation sanguine (chap.1) Démonstration de l'expérience du garrot de Harvey[6], visant à prouver l'existence des veines qui ramènent le sang au cœur. La **figure 6** montre le gonflement des valvules (B,C,D) et des veines après compression du bras par un garrot peu serré en A. La figure 2 montre que la pression du doigt en H provoque un échappement du sang en amont de H, c'est-à-dire en direction du cœur, prouvant la circulation unidirectionnelle du sang dans ces vaisseaux. Demander aux élèves de noter leurs observations à partir de l'image et d'imaginer les conclusions qu'Harvey a pu en tirer.
L'expérience est réalisable sur le bras mais n'est peut-être pas aussi claire que l'image de Harvey, avec le désavantage aussi de perdre un éclairage en histoire des sciences ; les travaux de Harvey sont fondamentaux dans le domaine de la physiologie ainsi que comme premiers raisonnements hypothético-déductifs quantitatifs.

---

[5] Voir De Vecchi G., 2004, Une banque de situations-problèmes 1, Hachette Education
[6] William Harvey (1578-1657), médecin anglais, découvreur des lois de la circulation sanguine (1628)

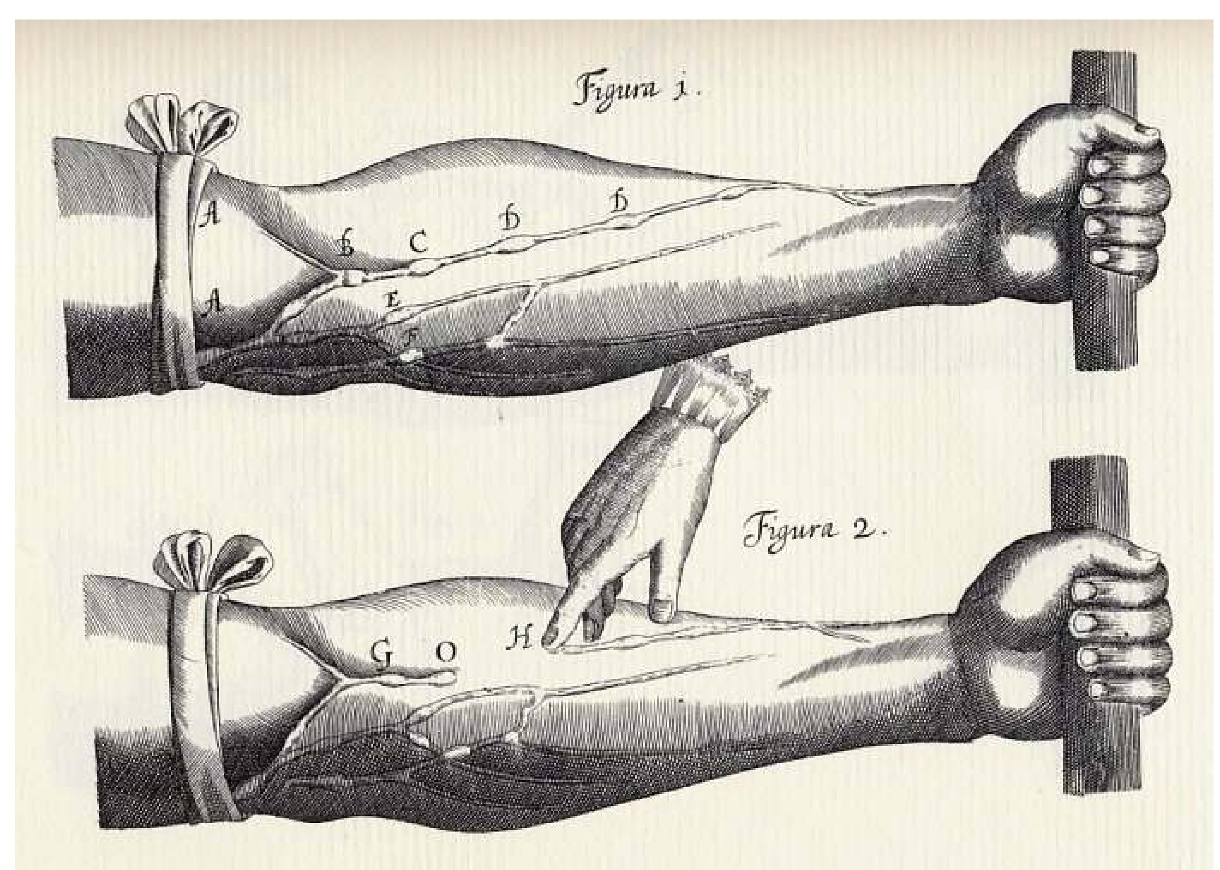


Figure 6 : expérience de compression des valvules dans l'avant-bras par Harvey
In : Guilielmi HARVEI ANGLI, 1628, *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus*

La menace microbienne (doc. 3A, chap.2, p.29) Donner aux élèves une photo d'une culture de bactéries (**fig. 8**) comme l'avait vue Fleming en 1928 et quel problème s'est alors posé à ce médecin qui étudiait alors les bactéries (ici, le staphylocoque) et ce qu'il a bien pu tirer de son observation.
Ayant eu le trait de génie de ne pas jeter sa culture bactérienne gâchée par cette moisissure, Fleming a observé la moisissure au microscope et a découvert un champignon qu'il a baptisé penicillium notatum ; la pénicilline était découverte !



Figure 7 :**Sir Alexander Fleming (1881-1955)**

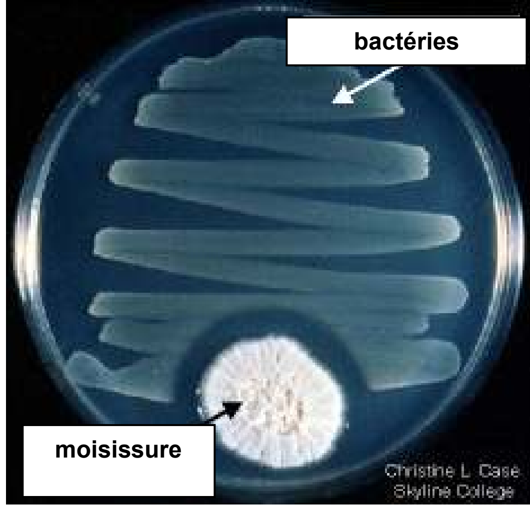


Figure 8 : colonies de Staphylocoques contaminées par Penicillium notatum

Circuit électrique et conducteurs (act.1, chap.1, p.6 et act.1, chap.3, p.22) Montrer aux élèves les trois circuits de la **figure 9** réalisés.

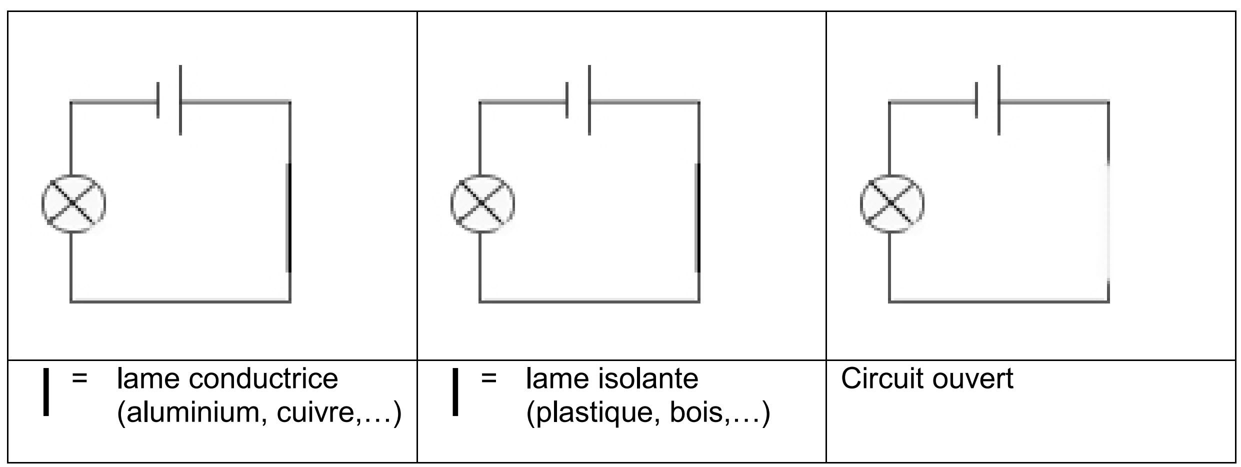


Figure 9 : circuits électriques mettant en évidence la notion de circuit et de conducteurs

Faire observer les similitudes et les différences entre les circuits, énoncer le(s) problème(s) et distinguer les différentes démarches permettant de le(s) résoudre : expérimentation, recherche documentaire,…

*Où se trouve le support de l'information héréditaire ? (*doc.2, chap.18, p.173) Relever les éléments informatifs du schéma présenté et en déduire la réponse à la question. Poser alors le problème que le clonage est une méthode récente et d'imaginer comment les scientifiques auraient pu associer les chromosomes du noyau au support de l'information génétique. Un retour sur l'histoire des sciences s'impose, en précisant que l'invention du microscope (XVIIe s.) est un préalable nécessaire à ces découvertes. Une chronologie des découvertes génétiques entre les lois de l'hérédité de Mendel (1865) et la découverte des chromosomes comme support des gènes (1910) peut montrer que plusieurs observations concourent à l'établissement d'un fait scientifique. (chronologie disponible sur http://gene-abc.ch/fr/geschichte-der-gene/histoire-du-gene-de-1665-a-1977.html#c575)

De l'observation doivent résulter des faits observables (!), énoncés sous forme textuelle, mais aussi graphique. Le dessin d'observation a sa place en sciences et doit aussi être appris. Une activité introductrice, *Les noisettes*, est proposée dans le cours d'Observation scientifique du CO Genève (http://bdp.ge.ch/webphys/recherche/fichiers/activite/Commissi.OS.Lesnoise.352.pdf) ; elle consiste à dessiner des noisettes pour pouvoir les retrouver ensuite.

4. Poser le problème

Distinguée ainsi, cette étape n'apparaît que dans le sigle Di**P**HTeRIC, et pas dans OHERIC. L'identification de la problématique peut se faire d'elle-même dans l'étape précédente, mais si elle n'est pas claire, l'émission d'hypothèses sera peut-être peu ciblée, avec les conséquences désavantageuses que cela pose pour mener à bien la suite de la démarche. L'activité intellectuelle de l'élève perd son sens s'il n'a pas clairement énoncé le problème qu'il cherchera à résoudre dans la suite du travail ; la seule discussion à bâtons rompus issue de l'observation ne donne souvent pas une idée très précise à tous les élèves de ce qui va être le cœur de la suite de leur travail.

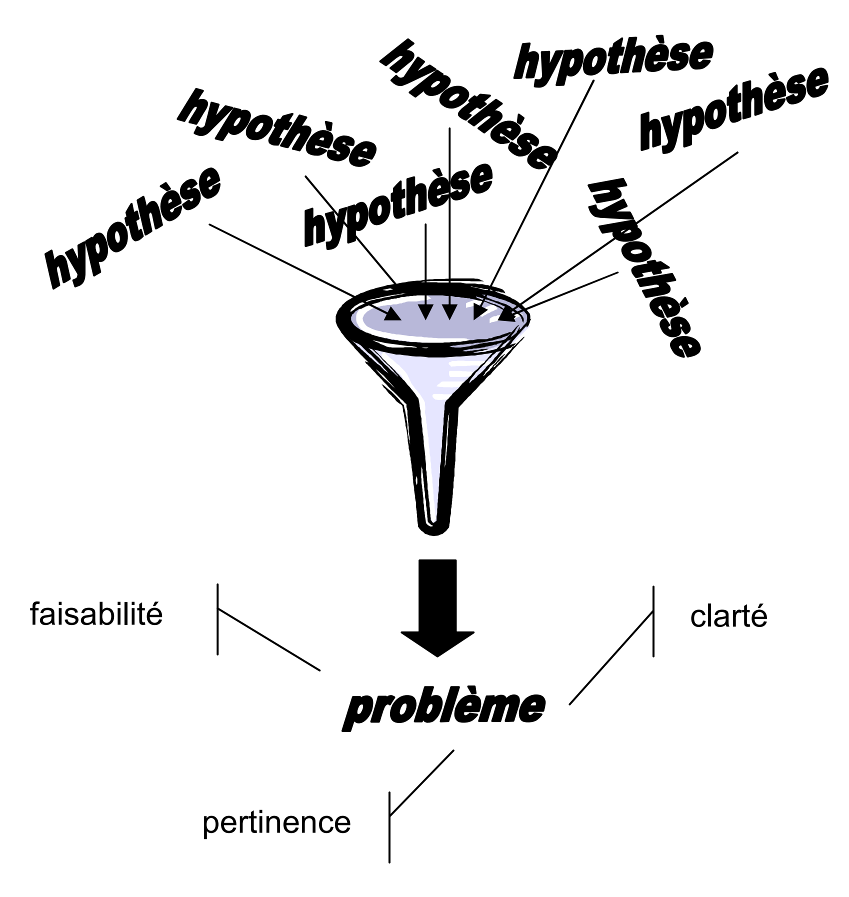


Figure 10 : le problème pour trier et clarifier les hypothèses

L'observation a fait naître un problème motivant les élèves et perturbant leurs représentations. Il y a problème quand l'effet obtenu n'est pas celui escompté compte tenu des connaissances de l'observateur. Par exemple, si on présente deux morceaux de bois (buis ρ_{buis} > 910 kg/m^3, frêne $\rho_{frêne}$ = 840 kg/m^3 ou teck ρ_{teck} = 860 kg/m^3, hêtre $\rho_{hêtre}$ = 800 kg/m^3) et deux béchers remplis de liquides différents (eau et essence ou éthanol), on s'attend que le bois flotte ; or il flotte dans un cas (ρ_{eau} = 1000 kg/m^3) et coule dans l'autre ($\rho_{essence}$ = 750 kg/m^3, $\rho_{éthanol}$ = 789 kg/m^3). La problématisation consiste alors à trouver quels facteurs pourraient intervenir dans le fait que ce n'est pas comme l'observateur l'avait prévu. Les facteurs intervenant dans une problématique doivent être isolés, qu'ils soient pertinents ou non (c'est l'expérience qui dira s'ils sont pertinents !). On passe d'une discussion parfois foisonnante à un objet d'étude scientifique délimité. Le problème peut ainsi être formulé, et doit l'être par l'élève. Quand on demande ainsi simplement d'écrire le but au début d'un rapport d'expérience classique, combien d'élèves doivent le demander à l'enseignant, ce qui montre qu'ils ne se sont pas approprié le problème dans la discussion préalable. L'élève qui formule le problème, avec ses propres mots, a une chance de plus de le faire sien ! L'attention portée à cette étape devrait éviter le dialogue suivant, malheureusement trop réel : « Pourquoi fais-tu cela ? » « Parce que c'est indiqué dans la fiche ! »…

Pour insister sur le fait que le problème formulé en est un, et qu'il reste encore à en chercher une ou des réponses, il est avantageusement énoncé sous forme de question : « Pourquoi [c']est comme ça ? », « Comment fonctionne… ? », « Comment se passe… ? », qui commencent souvent par *pourquoi* ou *comment*…(attention au *pourquoi* qui induit une réponse de type croyance !).



Comment puis-je savoir pourquoi… ?
Comment puis-je savoir comment… ?
Comment expliquer que… ?
La question que je me pose est… ?

Une question engage l'élève dans sa recherche, a du sens pour l'élève (il sait ce qu'il va chercher) et va permettre d'ajouter de nouveaux savoirs à l'état actuel de ses connaissances. Il est alors du rôle de l'enseignant de délimiter clairement le problème, d'aider à une formulation correcte (précise scientifiquement et correcte au niveau du langage) mais aussi de s'assurer que l'élève a les possibilités de répondre à cette question, soit par l'expérience, soit par une documentation disponible et adaptée à son niveau (l'enseignant peut aussi limiter les sources d'information). Il faut noter que la question n'est ici que la manière de formuler le problème, qui ne se limite pas à une simple question : « Un problème scientifique devant être résolu par une démarche explicative, il correspond à une recherche d'explication (solution) – ce qui le distingue de la simple question, recherche d'information (réponse)[7].
Pour entraîner cette attitude, l'enseignant peut raconter oralement une situation qui demande la mise au point d'un processus technologique simple, avec les facteurs numériques importants éventuellement écrits au tableau, puis demander aux élèves de résumer le problème sous forme d'une question dans leur cahier.

Exemples d'activités

Sciences 7^e^

Mélanges hétérogènes (chap.4, p.31) et aussi solutions, miscibilité, méthodes de séparation,…
« Ton petit frère joue tranquillement. Soudain ta mère se rend compte qu'il a pris la boîte de sel et qu'il y a scrupuleusement mélangé du sable !!! Nous sommes samedi soir, les magasins sont fermés et ta maman a besoin de sel pour cuisiner les repas du week-end… »
Le problème auquel doit aboutir l'élève serait : « Comment séparer les constituants du mélange sable-sel ? »
Relation entre la quantité d'oxygène dissous et la température (unité 1, chap.15, p.146)
« Dans ton aquarium, tu observes que tes poissons montrent des signes d'asphyxie. Tu sais que tes poissons ont besoin d'un minimum de 10 mg/l d'oxygène dissous dans l'eau. Ton voisin te propose un système de régulation de la température de l'eau, mais tu ne sais pas comment le régler. »
Le problème auquel doit aboutir l'élève est : « A quelle température correspond une quantité d'oxygène dissous de 10 mg/l ? » ou « Quelle est la relation entre la température de l'eau et la quantité d'oxygène dissous ? »

Sciences 8^e^

La circulation sanguine (chap.1)
« Harvey, médecin anglais de début du XVIIe s., a étudié plusieurs cœurs différents et s'est rendu compte qu'ils pouvaient contenir en moyenne 2 onces de liquide. 1 once équivaut à environ 29 ml. Ayant mesuré les battements cardiaques à 72 par minute, il en déduit que le

---
[7] Cariou J.-Y., *op.cit.*

cœur brasse 8640 onces par heure *(soit 259 kg de sang, à donner facultativement).* Quel problème se pose alors Harvey ? »
Harvey s'est alors demandé : « Et s'il y avait un retour du sang au cœur ? », mais il émet ici déjà une hypothèse. Tous les problèmes mettant en évidence l'inéquation entre le volume de sang brassé par le cœur et la masse d'un corps humain sont ici à prendre en compte.
Aider l'organisme à se défendre (chap.5)
« La variole ou petite vérole est une maladie à éruptions cutanées, les pustules, qui provoque la mort en quelques jours chez un malade sur trois. Elle atteint aussi les vaches et est appelée vaccine. Au XVIIe s. les valets de ferme qui trayaient les vaches et qui étaient en contact avec les pustules des pis étaient couramment atteints de la vaccine, maladie bénigne. Cependant ces valets étaient aussi épargnés par les épidémies de variole, qui faisaient des dizaines de milliers de morts par an en Europe. Ayant observé cela, quelle question a pu se poser le médecin de campagne anglais Edward Jenner ?»
L'observation de Jenner l'a amené à se demander si la substance responsable de la vaccine des vaches ne pouvait pas jouer un rôle préventif contre la variole chez l'homme. Il tente alors avec succès la première vaccination au monde en inoculant à un enfant du pus d'une femme contaminée par la vaccine, puis en contaminant l'enfant avec la véritable variole et l'enfant ne subit aucun effet de la variole : il est immunisé. Les Chinois pratiquaient une méthode similaire dès le XIe s.

Sciences 9^e^

Lois concernant l'intensité et la tension (documents, chap.7, p.57)
« Mon réveil électrique ne fonctionne plus. J'ai envoyé mon frère chercher une pile 1.5 V au magasin et il est revenu avec une pile ronde, mais ça ne va pas marcher ! J'avais oublié de lui dire que j'avais besoin d'une pile bouton. Sympa, il retourne et me ramène une pile bouton de diamètre 6.8 mm mais ce n'est toujours pas cela ! Cette fois, il se fâche : « Mais tu m'avais bien dit 1.5 V ! ». En fait mon réveil nécessite une pile bouton de diamètre 11.6 mm, pourtant j'avais appris que c'est la tension qui était importante pour choisir la pile… »
Le problème à poser ici est que la taille d'une pile n'a pas de rapport avec sa tension, mais avec sa durée de fonctionnement.

5. Les hypothèses

Une fois le problème clairement énoncé, l'émission d'hypothèses sur la ou les réponses possibles peut commencer. Une hypothèse est une solution possible au problème posé et sera testée pour savoir si elle est juste ou fausse. Elle provient de l'intuition ou des connaissances préalables. Elle est donc une première réponse, mais reste une possibilité et non une certitude. Identifier les grandeurs en jeu, les relations entre ces grandeurs, repérer les connaissances déjà existantes, trouver comment tester les grandeurs supposées pertinentes,… les idées foisonnent. Une hypothèse est émise ou rédigée sous la forme d'une phrase affirmative, brève et précise, en insistant sur son caractère provisoire par le conditionnel (« il se pourrait que… ») ou par l'emploi de l'adverbe « peut-être » et met en relation deux ou plusieurs faits.
Deux cas de figure posent alors problème à l'enseignant : il y a trop d'hypothèses ou il n'y en a pas assez (ou pas du tout !).
S'il y a trop d'hypothèses, il faut veiller à ce qu'elles soient justifiées car tout n'est pas recevable : l'élève doit dire « Je pense que…PARCE QUE… » ou pouvoir justifier la conséquence de son hypothèse : « Si mon hypothèse est vraie, alors je devrais observer… ». Une hypothèse recevable a un pouvoir explicatif par rapport au problème posé et ne doit pas contredire les connaissances acquises. Il est souvent judicieux de les classer car plusieurs formulations recouvrent parfois un même contenu. Les limites des moyens de test (pratique, temps, matériel,…) peuvent être un critère de choix. Il est aussi possible de lancer les élèves sur différentes pistes d'expérience, avec une mise en commun finale qui permet la construction d'un nouveau savoir sur la base de plusieurs tests amenant chacun sa pierre à l'édifice. On rejoint ici la démarche scientifique telle qu'elle est réellement pratiquée par différentes équipes de chercheurs qui collaborent pour la communication des résultats.
Et quand l'émission d'hypothèses s'apparente à un désert et qu'un silence désespérant règne, l'enseignant se doit de relancer :

- Par le dialogue : « A votre avis… ? », « Vous en pensez quoi les autres… ? », « Comment faire pour… ? », « Pourquoi c'est comme ça ? »,…
- Par la contrainte de l'écrit : recueillir les hypothèses proposées par les élèves par écrit, dans le silence…et dans les dernières minutes du cours, pour permettre de préparer le matériel pour le cours suivant !
- Par un tour de magie : l'enseignant est le magicien qui a toujours plus d'une hypothèse dans son sac. Il est toujours facile de fournir des hypothèses issues de l'histoire de sciences ou d'autres classes. Les hypothèses introduites par l'enseignant doivent être parfois vraies, mais aussi parfois fausses, pour éviter que le choix se porte toujours sur celle de l'enseignant, qui ne peut pas mentir…



Je pense que…
Mais je vais devoir le prouver !

D'autres problèmes peuvent apparaître, issus des relations des élèves au sein de la classe, du poids du contrat didactique ou de l'attitude de l'enseignant. Il est important que toutes les hypothèses recevables et que les hypothèses de tous soient entendues, donc c'est à l'enseignant de se taire ou d'intervenir le moins possible. Il doit gérer l'émission d'hypothèses, la stimuler mais pas la juger. Pour que l'élève qui sait toujours tout, qui refait l'année ou qui a regardé à l'avance dans le manuel n'ait pas toujours raison, il est important que l'enseignant se montre systématiquement sceptique, ou impassible, ou approbateur. Les élèves ne pourront plus chercher à déceler la bonne hypothèse dans les attitudes de l'enseignant, mais il ne leur restera qu'à mettre en œuvre un test…

L'émission d'hypothèses est une des attentes fondamentales de 3e cycle proposées par le PER, détaillée selon le niveau des élèves, et elle permet d'évaluer l'implication de l'élève dans une démarche (voir § 12) :

Au cours, mais au plus tard à la fin du cycle, l'élève...

- *face à une situation, énonce une hypothèse pertinente / des hypothèses pertinentes (Niv 2)* (PER, 2010)

Exemples d'activités

Sciences 7-8-9^{e}

- « Vous partez sur une île déserte, quels sont les 7 objets que vous emportez ? » Les réponses à cette question classique sont des hypothèses qui doivent être justifiées : « Je prendrais [ceci] pour faire [cela]. »

- « Qu'est-ce que cela ? » ou « Pourquoi est-ce comme ça ? » en montrant un morceau d'écorce trouée par des vers typographes (**fig. 11**) (un vrai, pas une photo !)



Figure 11 : œuvre de vers typographes dans un tronc

Les femelles creusent une galerie de ponte dans l'écorce (de préférence d'épicéa) et les larves creusent des galeries perpendiculaires où elles se transforment en nymphes.

- « A quoi sert cet objet ? » (**fig. 12**)
  C'est un tire-botte.





Figure 12 : un tire-botte ©Mascaron

- « Quel est le métier d'un oculariste ? » Un oculariste est un fabriquant de prothèses oculaires (**fig. 13**), qui sont réalisées en verre ou en résines synthétiques. L'illustration ci-dessous n'est à donner qu'après l'émission d'hypothèses. Les hypothèses émises sont recevables si elles font appel à des connaissances préalables, ici particulièrement langagières.



Figure 13 : prothèses oculaires ©RTBF

Sciences 7^e^

Les mélanges hétérogènes (méthode de séparation, chap.4)
« Vous avez découvert la différence entre les deux types de mélanges avec le sirop de menthe et le jus d'ananas. Comment pourriez-vous séparer maintenant les deux composants visibles du jus d'ananas ? »
L'acidité (chap. 7)
« Ces temps-ci, Lulu a souvent mal au ventre. Il va consulter son pédiatre qui lui demande la liste des aliments qu'il consomme le plus souvent. Voici cette liste: poulet, bœuf, pommes de terre, ice-tea, coca-cola, bananes, mandarines, bonbons, oignons, carottes, yoghourts, pâtes, tomates et chocolat.
Le médecin pense que Lulu a trop d'acidité dans l'estomac. Il lui propose d'arrêter de consommer certains de ces aliments et lui prescrit un médicament.
A ton avis,
• quels aliments doit-il arrêter de consommer pendant quelques temps ?
• comment sait-on qu'un aliment est acide ?
• quel est l'effet du médicament prescrit ? » (activité reprise de « Lulu est malade », cours d'Observation scientifique du CO Genève, http://bdp.ge.ch/webphys/recherche/fichiers/activite/Commissi.OS.Luluestm.359.pdf).
L'enseignant choisit la ou les questions qu'il souhaite poser en fonction du niveau des élèves et du contenu à atteindre.

Sciences 8^e^

Poids, masse, volume (chap.20) et méthodes de mesure
« Combien y a-t-il de grains de riz dans ce paquet ? »
Les hypothèses peuvent porter sur la réponse, avec des justifications par comparaison, ou sur les moyens de mesurer. Il est intéressant alors de classer les hypothèses en spécifiant que les deux problèmes (trouver le nombre et trouver le moyen de compter) sont différents.

6. L'expérimentation

Une ou des hypothèses ont été sélectionnées pour le test. L'expérimentation permettra de décrire la réalité non plus par les sens (imprécis et personnel, voir §3) mais par des mesures répétables, rigoureuses et uniformes avec des instruments. Notons que la création d'instruments de mesure est un bon thème de démarche scientifique.
L'expérimentation consistera à faire varier un facteur (une variable, indépendante, la cause du phénomène), et une seule, et à mesurer les effets de cette variation sur un autre facteur (l'autre variable, dépendante). La variation peut être la présence ou l'absence ou la présence à différents degrés. Le PER détaille cela dans les attentes fondamentales du 3e cycle :

Au cours, mais au plus tard à la fin du cycle, l'élève...

- *imagine une expérimentation qui ne fait varier qu'un facteur à la fois*
- *prépare et/ou réalise un protocole d'observations, de mesures et de calculs pour un problème à deux facteurs dépendants (mesure de température de l'eau en fonction du temps de chauffage, distance en fonction du temps,…)* (PER, 2010)

A ce stade, il faut que l'élève **fasse**, et on peut espérer qu'il sait pourquoi et pour quoi… Il devrait avoir une idée de ce qu'il doit démontrer, l'hypothèse, et de ce qu'il va obtenir. Il est acteur de sa démarche puisqu'il va choisir la méthode. On passe ainsi du TP classique, lors duquel l'élève réalise docilement une recette de cuisine, à une expérimentation imaginée : « Comment pourrait-on faire ? ».

A chaque obstacle sa solution, si l'enseignant a envie d'en trouver une…

- la sécurité : l'enseignant peut réaliser devant les élèves une expérience qu'ils ont conçue ;
- le manque de matériel : la débrouille et le bricolage font des miracles ; le travail par groupe sur des questions différentes donc des expériences différentes, en tournus ; les élèves sont invités à amener du matériel depuis la maison ;… ;
- le manque de salle de laboratoire : vu les expériences nécessaires au programme, beaucoup peut se faire dans une salle de classe (un point d'eau est nécessaire !) ;
- la discipline : oser et ça marche, en augmentant la difficulté des expériences et la longueur des phases d'autonomie, en mettant en place des phases rituelles (hypothèses, démarrage de démarche, prise en main du matériel, rangement du matériel,..), la classe s'habitue à cette manière de faire ;
- le temps : il n'est pas obligatoire de tout faire chaque fois, l'enseignant peut parfois faire une expérience en démonstration ; il est préférable que les élèves conçoivent sans réaliser plutôt qu'ils réalisent sans avoir conçu… à vous de gérer la frustration ! L'enseignant peut donner des résultats d'expériences conçues par les élèves.



Pour réaliser l'expérience qui me permettra de dire que mon hypothèse est vraie, je vais devoir faire…

L'expérimentation comporte deux phases distinctes : la préparation et la réalisation.

6a Préparation d'une expérience

L'élève doit d'abord chercher les différents moyens d'investigation possibles pour trouver une réponse à son problème ; cela peut être sur le mode expérimental, mais aussi documentaire ou observatoire.
Dans le cas de l'expérience, les variables à mesurer doivent être clairement identifiées. A partir de cela, il faut rédiger un protocole expérimental respectant les normes de sécurité **:**

- décrire les opérations en les ordonnant (« calendrier » ou plan de réalisation) ;

- déterminer et choisir les instruments et le matériel nécessaires et adéquats, en les nommant ;
- écrire le mode opératoire en schématisant éventuellement le montage ;
- choisir et préparer les documents pour relever les résultats (tableaux, fiches, graphiques,…);
- réaliser le montage de l'expérience.

Chaque groupe d'élèves est responsable de choisir son matériel correctement et doit en dresser la liste complète, d'où la nécessité de rédiger aussi le mode opératoire complet et séquencé. L'enseignant se doit de ne fournir que le matériel demandé, ou seulement l'instrument qui répond à la fonction que l'élève énonce, s'il n'en connaît pas l'existence ou le nom. Dans les premières réalisations de démarches scientifiques, l'enseignant peut fournir du matériel supplémentaire sur demande au cours de l'expérience.
Plusieurs pistes peuvent être utilisées par l'enseignant pour réduire le temps nécessaire à cette étape (spécialement chronophage !) ou pour en séquencer l'apprentissage :

- Donner la liste du matériel et demander de n'écrire que le mode opératoire ;
- Donner le mode opératoire et ne demander que la rédaction de la liste du matériel nécessaire ;
- Donner les opérations dans le désordre et les faire séquencer correctement ;
- Donner un schéma de montage et demander de rédiger la liste de matériel et le mode opératoire ;
- Faire choisir dans une liste de propositions un dispositif d'exploration qui permet de répondre au problème ;
- Proposer un choix d'instruments de mesure de types différents ou de calibres différents et demander de choisir le plus adapté ;
- …

6b Réaliser une expérience

La réalisation ne posera pas beaucoup de problèmes si la phase précédente a été correctement effectuée. Il s'agira ici de se procurer le matériel nécessaire et de l'utiliser correctement.
Plus les élèves pratiquent des expériences, plus ils développent des compétences de planification et d'organisation et plus ils ont à l'aise avec le matériel et avec la prise de résultats. Les problèmes survenant au début peuvent souvent être réglés en revenant à la préparation de l'expérience, ce qui souligne son importance.
Pour entraîner les élèves à des préparations de protocoles correctes, on peut faire réaliser des expériences selon les protocoles rédigés par d'autres élèves. La discussion sur un questionnaire (**tab. 2**) permet d'améliorer les démarches, en soulignant leur diversité, la reproductibilité des expériences ainsi que la lisibilité des résultats.

Fiche d'évaluation par les pairs
• Avez-vous pu refaire l'expérience de vos camarades à partir de leur cahier ?
☐ Très facilement. Pourquoi ?
…………………………………………………………………………………………
☐ Avec quelques difficultés. Lesquelles ?
…………………………………………………………………………………………
☐ Non. Pourquoi ?
…………………………………………………………………………………………
• Avez-vous trouvé le même résultat ?
☐ Oui, exactement.
☐ Pas tout à fait.
☐ Pas du tout.
A votre avis, pour quelle-s raison-s ?
……………………………………………………………………………………………
In : *« Ca va chauffer »,* OS 7e, CO Genève

Tableau 2 : fiche d'évaluation par les pairs de la réalisation d'une expérience

La mise en commun des problèmes apparaissant lors des premières expériences permet de mettre en place certaines notions de méthode de travail, qui peuvent faire l'objet d'un « mémo » affiché en classe ou collé dans le cahier, ou d'un questionnaire d'autoévaluation du groupe redistribué occasionnellement :

- nous organisons notre travail en prévoyant les opérations et en les notant dans le cahier avant de commencer ;
- nous nous répartissons les tâches dans le groupe ;
- nous travaillons proprement et nous évitons le gaspillage ;
- nous lisons les éventuels modes d'emploi.

La pratique d'exercices du type *Propose une expérience* dans les livres Sciences 7e-8e-9e entraîne les élèves à la conception de protocoles expérimentaux.

Exemples d'activités

Sciences 7e

L'eau est-elle miscible avec tous les liquides ? (act.2, chap.9, p.73)
Ayant introduit cette situation par un problème de son cru (par ex. deux mélanges inconnus, l'un homogène, l'autre avec des composants non-miscibles de couleurs différentes), l'enseignant distribue 5 liquides aux élèves (si possible 2 sets de 5 liquides, par exemple : eau colorée en vert, alcool à brûler, pétrole, glycérine, huile et eau, vinaigre, alcool à brûler, huile, sirop). Il demande que toutes les possibilités de mélanges doivent être testées, sans préciser le nombre (25). Les élèves doivent préparer leur protocole en veillant à utiliser le moins de produits possibles (réutiliser les mélanges à 2 pour rajouter un 3e produit,…). Il est important ici de prévoir la notation des échantillons et la présentation la plus pratique des résultats (en espérant que certains aient l'idée d'un tableau…)
Pour l'enseignant, les 25 possibilités avec 5 produits numérotés de 1 à 5 sont :

1-2	1-3	1-4	1-5	2-3	2-4	2-5	3-4	3-5	4-5
1-2-3	1-2-4	1-2-5	1-3-4	1-3-5	1-4-5	2-3-4	2-3-5	3-4-5	
1-2-3-4		1-2-3-5		2-3-4-5		1-3-4-5		1-2-4-5	
1-2-3-4-5									

Germination de graines (chap. 12-13)
Pour cette situation souvent déjà testée à l'école primaire, il est intéressant de demander aux élèves de rédiger le protocole en fonction de ce qu'ils veulent tester et de leur demander de rédiger un « bon de commande » du matériel. Il est important ici de prévoir la notation des échantillons ainsi que d'introduire la notion d'échantillon témoin.

Apprendre à récupérer un gaz contenu dans un liquide (act.1, chap.6, p.48)
L'élaboration d'un protocole de ce type est trop compliquée pour les élèves, on ne peut pas leur demander d'inventer un tel procédé …On peut alors leur distribuer les étapes du protocole mélangées et leur demander de les ordonner avant de réaliser l'expérience, ainsi que de rédiger la liste du matériel en fonction du protocole.

Quel gaz est contenu dans une eau gazeuse ?

Place une bouteille d'eau minérale gazeuse dans la cuve contenant de l'eau chaude.

Recueille dans le tube à essai le gaz qui s'échappe de la bouteille.

Au-dessus de l'extrémité du tube de dégagement, place un tube à essai rempli d'eau.

Quand le tube à essai est rempli de gaz, retourne-le en le bouchant avec un doigt.

Verse dans le tube à essai de l'eau de chaux, en essayant de ne pas laisser échapper le gaz.

L'extrémité du tube de dégagement trempe dans le bécher rempli d'eau.

Ferme la bouteille par un bouchon percé muni d'un tube de dégagement.

Adapté de *Sciences 7e*, p. 48, DECS, Etat du Valais, Suisse, 2002.

Ce type d'activité peut être réalisé avec n'importe quelle expérience, de préférence si le protocole n'est pas imaginable par les élèves.

Sciences 8^e^

La circulation sanguine (chap.1)…toujours Harvey

Harvey, médecin anglais du début du XVIIe s., a constaté que le cœur brassait beaucoup plus de sang que ne pouvait en contenir un corps humain. Par l'observation et la lecture de scientifiques qui l'ont précédé (Aristote, Galien, Vésale), il formule trois hypothèses imaginant une « circulation » sanguine :

1° Le sang, poussé par la contraction du cœur, passe continuellement de la veine cave dans les artères, en si grande quantité que les aliments ne pourraient y suffire, et la totalité du sang suit ce passage en un temps très court.

2° Le sang, poussé par les pulsations artérielles, pénètre continuellement dans chaque membre et chaque partie du corps, et il en entre ainsi bien plus que la nutrition du corps ne l'exige, et bien trop pour que la masse du sang y puisse suffire.

3° Les veines ramènent constamment le sang de chaque membre dans le cœur.

Il teste ses trois hypothèses par les trois mesures suivantes :

A. Comptez ce qui passe d'onces de sang dans un seul bras, au dessous d'une ligature, pendant vingt ou trente pulsations, et vous pourrez vous faire une idée de ce qui doit passer par l'autre bras, par les deux veines, de chaque côté du cou, et dans toutes les veines du corps.

B. Mesurez le nombre de contractions du cœur en une minute. Le cœur en une demi-heure a plus de mille contractions; chez quelques personnes même, il en a deux mille, trois mille et même quatre mille. En multipliant par drachmes [1 drachme = 3,24 grammes], on voit qu'en une demi-heure il passe par le cœur dans les artères trois mille drachmes, ou deux mille drachmes, ou cinq cents onces; enfin une quantité de sang beaucoup plus considérable que celle que l'on pourrait trouver dans tout le corps. [...] D'ailleurs ne prenons ni une demi-heure, ni une heure, mais un jour : il est clair que le cœur par sa systole transmet plus de sang aux artères que les aliments ne pourraient en donner, plus que les veines n'en pourraient contenir.

C.

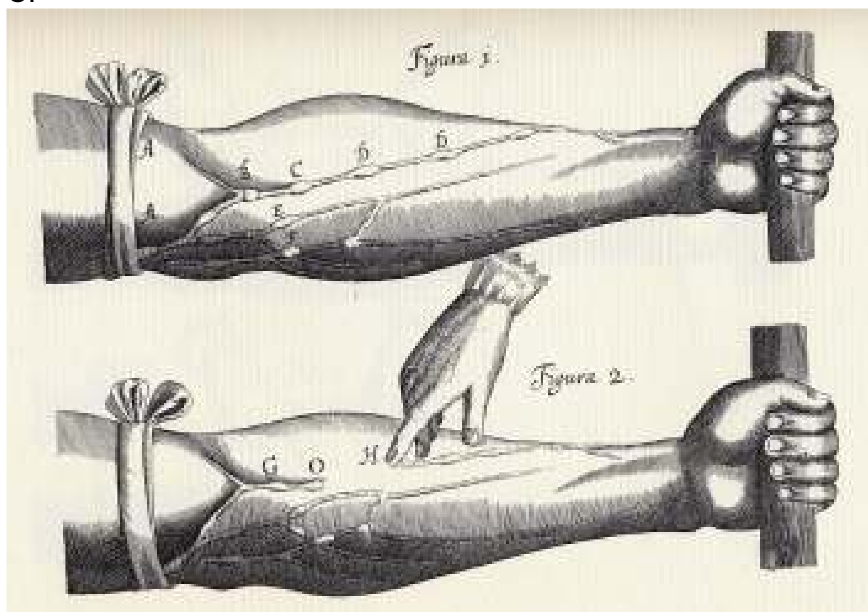


Figure 14 : ***expérience de compression des valvules dans l'avant-bras par Harvey***
In : Guilielmi HARVEI ANGLI, 1628, ***Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus***

Relier les hypothèses aux explications qui permettent de les prouver. (Réponses : 1-B, 2-A, 3-C)

Combustions (chap.13-14)
Monter aux élèves le matériel de la **figure 15** (les deux cloches doivent être de même taille) :

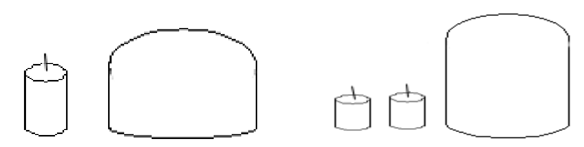


Figure 15 : expérience de combustion

Demander dans quelle situation la ou les bougies resteront le plus longtemps allumées. Après discussion, préparer un protocole qui teste les solutions proposées facteurs en jeu : comburant ou disponibilité en O_2 c'est-à-dire volume de la cloche, combustible, c'est-à-dire quantité de mèches et chaleur). Il est intéressant ici d'introduire la notion de témoin et du nombre de tests à réaliser.

Sciences 9e

Electricité statique (introduction)
Des petites expériences d'électricité statique sont présentées dans le cours d'Observation scientifique du CO Genève. Demander aux élèves, après les avoir réalisées, de rédiger le protocole de réalisation par étapes avec la liste du matériel. (voir http://bdp.ge.ch/webphys/recherche/fichiers/OS/Commissi.activite.475.pdf)

La pile de Volta (documents, chap.1, p.9)
Distribuer aux élèves le document « L'invention de la pile » avec le texte et l'image et leur demander de construire une telle pile. Les rondelles de zinc et d'argent sont avantageusement remplacées par des pièces de 10 ou 20 ct et des disques de papier aluminium. Le test de la production d'électricité se fait avec un multimètre ou une DEL (voir « Réalise une expérience à la maison » p.12, sans montrer aux élèves !).
Faire réaliser un protocole du montage.

La lampe éteinte

Montrer aux élèves une lampe de poche avec une pile plate de 4.5 V dont une des bornes est entourée (à l'insu des élèves) de papier adhésif. Comme cette lampe ne fonctionne pas, demander de rédiger le protocole de test de chaque composant qui pourrait être à l'origine de la panne : l'ampoule, la pile et la lampe.

La réalisation des tests peut se faire ensuite, en donnant aux élèves un set de matériel (lampe, ampoule, pile) démonté (mais pas la lampe démonstration !). Chaque groupe d'élèves recevrait un set où un des composants est défectueux.

7. Les résultats

Deux caractéristiques des résultats sont à enseigner :

- leur nature : les résultats sont CE QUE JE VOIS / MESURE / ….
- leur présentation : textes, schémas, tableaux, graphiques,…

La distinction claire des résultats et de leur interprétation est une étape difficile pour les élèves et doit donc être faite précisément par un moyen graphique : deux étapes dans le cahier d'expérience par exemple. On peut insister sur le fait qu'ils sont reproductibles et peuvent être attestés par d'autres élèves : tous doivent « voir » la même chose.
La présentation des résultats se fait par un moyen qu'il faut choisir en fonction de son adéquation à la nature des résultats et qu'il faut apprendre à utiliser. Il existe plusieurs modes d'écrit ou de représentations graphiques (**fig. 16**).

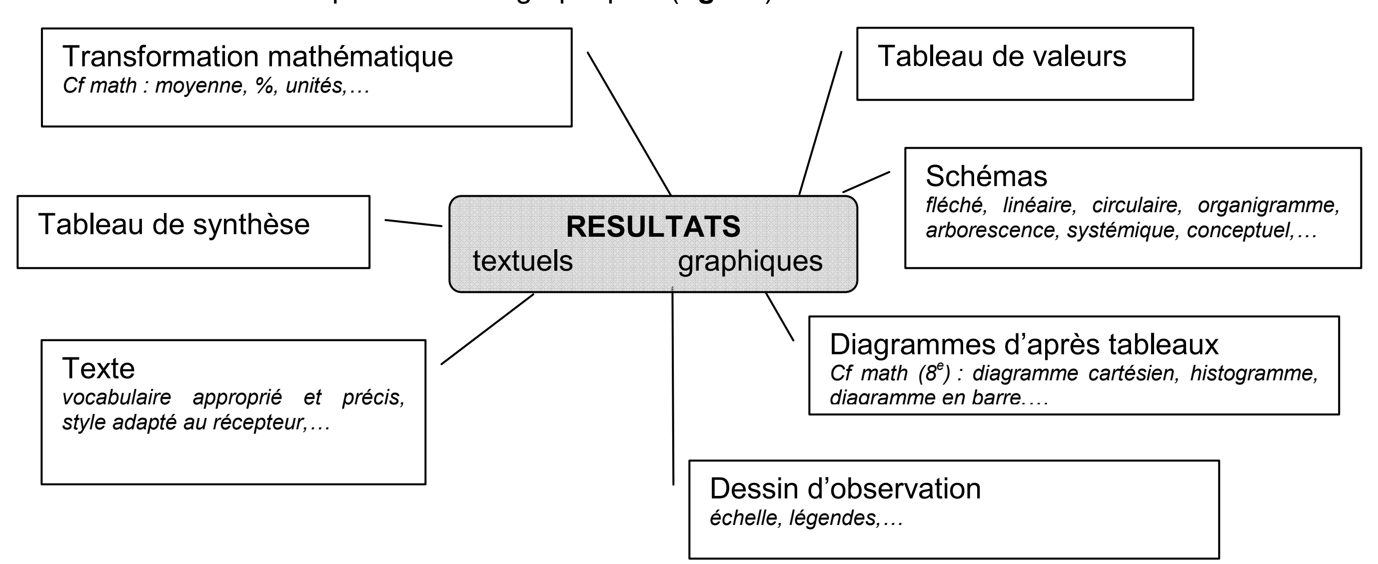
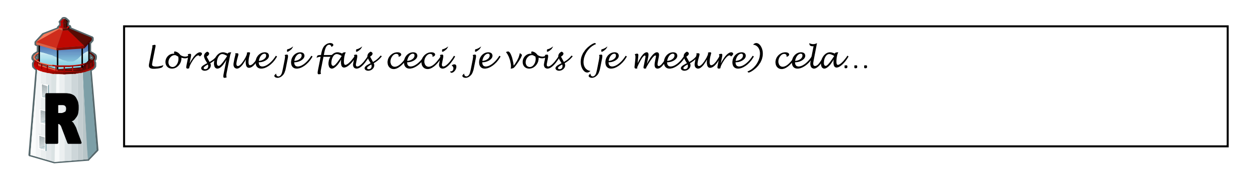


Figure 16 : modes de représentation des résultats

Dans un apprentissage graduel de la démarche scientifique, les modes de communication devraient être d'abord du choix de l'enseignant, puis du choix de l'élève dans une liste limitée et enfin du choix libre de l'élève. Pour arriver à ce choix libre, l'élève doit avoir vu les différentes possibilités (connaissance déclarative), les avoir utilisées (connaissance procédurale) et avoir compris dans quel cas elles interviennent (connaissance conditionnelle). Le choix final du moyen de représentation est d'un niveau cognitif élevé, donc il doit intervenir seulement chez certains élèves, comme le mentionne le PER dans ses attentes fondamentales de 3e cycle, en distinguant deux niveaux :

Au cours, mais au plus tard à la fin du cycle, l'élève...

- *structure et présente les résultats, en utilisant les arrondis et unités adéquats, dans un tableau / une représentation graphique (diagramme cartésien, en colonne, circulaire) (Niv 2)* (PER, 2010)



Une autoévaluation individuelle est parfois utile, qui montre à l'élève l'importance du choix de la forme sous laquelle il communique ses résultats :

- je suis capable de remplir un tableau / un schéma/…
- je suis capable de réaliser un tableau / un schéma / un diagramme / un dessin d'observation /…

- je suis capable de lire / comprendre / interpréter un tableau / un schéma / un diagramme /…
- je suis capable de choisir le meilleur outil : un tableau / un diagramme / un schéma / un texte / un dessin /… en fonction des résultats, en fonction du récepteur
- je suis à l'aise / ne suis pas à l'aise pour communiquer mes résultats

On peut aussi répartir les modes de communication selon les années, en adaptant au programme de mathématiques :
7e : textes en insistant sur le vocabulaire, tableaux de valeurs, dessins d'observation,…
8e : diagrammes et schémas,….
9e : transformations mathématiques, adaptation du texte au récepteur,…
Il se peut aussi qu'il n'y ait pas de résultat… mais alors pourquoi ? Il faut faire comprendre aux élèves qu'un résultat négatif est un résultat[8], et que la recherche des sources d'erreurs est un travail de même valeur que des résultats brillants. Il vaut mieux qu'ils aient cherché mais pas trouvé que l'inverse…

Exemples d'activités

Sciences 7e

Quel gaz est contenu dans les eaux gazeuses ? (act.1, chap.6, p.48)
Une fois cette expérience réalisée, par les élèves ou en démonstration, avec la conception ou selon l'activité présentée sous *L'expérimentation* (§6), il est possible de demander aux élèves combien de résultats sont observés (2) et de les écrire, avant d'expliquer le rôle de l'eau de chaux. Les résultats et l'interprétation sont ainsi clairement séparés. Ceci est purement didactique puisque le rôle du réactif est censé être connu lors de la préparation de l'expérience !
Il est aussi possible de présenter aux élèves une série de phrases parmi lesquelles il faut choisir lesquelles correspondent au(x) résultat(s) :

1) Le tube à essai s'est vidé de son eau.
2) Le tube à essai s'est rempli d'eau de chaux.
3) L'eau de chaux s'est troublée en présence de gaz carbonique.
4) L'eau de chaux s'est troublée après chauffage de l'eau minérale.
5) L'eau de chaux n'a pas changé de couleur mais s'est remplie de bulles.
6) L'eau de chaux s'est troublée au contact du gaz.
7) Du gaz carbonique a rempli le tube.
8) Un gaz est sorti de l'eau minérale lors du chauffage et a rempli le tube.
9) L'eau du bécher a rempli la bouteille d'eau minérale.
10) Un gaz est sorti de l'eau minérale après chauffage et a été récupéré dans le tube ; il a troublé l'eau de chaux.
11) Un gaz est sorti de l'eau minérale après chauffage ; il a disparu dans l'air.
12) De l'eau minérale a passé dans le tube après chauffage.
13) Des gouttes d'eau sont sorties de l'eau minérale.
14) De l'oxygène a rempli le tube.
15) Des gouttes d'eau sont sorties de l'eau minérale après chauffage.
16) Des bulles de gaz sont sorties de l'eau minérale après chauffage.
17) Des bulles de gaz sont sorties de l'eau minérale.

Les réponses 6 / 8 / 10 /16 / 17 sont acceptables, la 10 étant la meilleure. On peut discuter de la précision du vocabulaire et du contenu (sous quelle condition ce résultat est-il

[8] Tester si la masse seule joue un rôle dans la flottaison donne un résultat négatif : un caillou de 100 g. coule alors que 100 g de liège flotte. Donc le résultat n'est pas si négatif, il permet d'écarter le facteur masse du phénomène ; on obtient alors un résultat tout à fait présentable : « La masse n'influence pas la flottaison d'un objet. ». Voir annexe 7.

apparu ?, voir phrases 16 et 17). Les phrases mentionnant le nom du gaz ne sont pas acceptables car l'identification fait partie de l'interprétation des résultats en fonction de ce que l'on sait du réactif.

Les gaz ont-ils une masse ? (act.2, chap.6, p.49)
Cette expérience est un bon prétexte pour travailler sur la communication de résultats numériques : la masse avant agitation et la masse après agitation sont les résultats. La soustraction et son résultat peuvent déjà être compris dans l'interprétation. Ils appartiennent au raisonnement de l'expérimentateur mais ne sont pas directement visibles sur les instruments de mesure.

Que contient une eau minérale ? (act.1, chap.7, p.56)
On peut insister ici sur la distinction claire entre le résultat : « un dépôt blanc reste au fond du tube après la vaporisation de l'eau minérale » de l'interprétation « il reste des sels minéraux au fond du tube après la vaporisation de l'eau minérale ».

Quand une eau est-elle acide ? (act.2, chap.7, p.57)
La mesure de pH de différents liquides, ou de différents aliments (voir sous *Les hypothèses*, §5, *L'acidité*), permet d'introduire la présentation de résultats sou forme d'un tableau.
On peut laisser les élèves choisir leur mode de présentation, mettre en commun les différentes réalisations et discuter de leur efficacité, avant de formaliser la réalisation d'un tableau de résultats.
On peut aussi proposer différentes façons de présenter les résultats et :

- laisser les élèves choisir, discuter des raisons du choix, puis laisser choisir à nouveau avant de rédiger les résultats ;
- laisser les élèves choisir, rédiger les résultats puis discuter ;
- imposer différents manières aux différents groupes, rédiger les résultats puis en discuter (le fait de ne pas avoir choisi peut faciliter la mise en évidence des désavantages, il est moins évident de voir les inconvénients de ce qu'on a choisi…)
- discuter des avantages et désavantages de chaque solution et se mettre d'accord en classe sur une façon de les rédiger ;
- …

Sciences 8^e^

Comment reconnaître un solide d'un liquide ? (act.1, chap.9, p.112)
Peu importe la manière dont est menée cette investigation, la présentation des résultats est ici l'occasion de développer les différents types de tableaux ou schémas possibles (**tab. 3**).

Adaptés	*Peu adaptés*
Tableau de synthèse (**fig. 17**) Schéma fléché (**fig. 18**) Organigramme (**fig. 19**) Arborescence (**fig. 20**) Schéma conceptuel (**fig. 21**)	Texte Diagrammes Dessins Schéma linéaire Schéma circulaire Schéma systémique

Tableau 3 : types de représentations dans l'expérience de distinction des 3 états de la matière

Solide	Liquide	Gaz
Forme propre	Pas de forme propre Prend la forme du récipient Surface libre au repos plane et horizontale	Pas de forme propre Occupe tout l'espace disponible

Figure 17 : tableau de synthèse

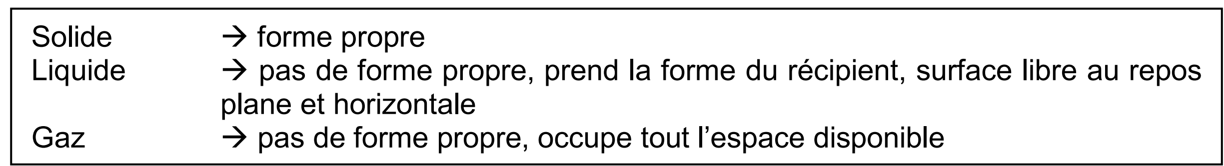


Figure 18 : schéma fléché

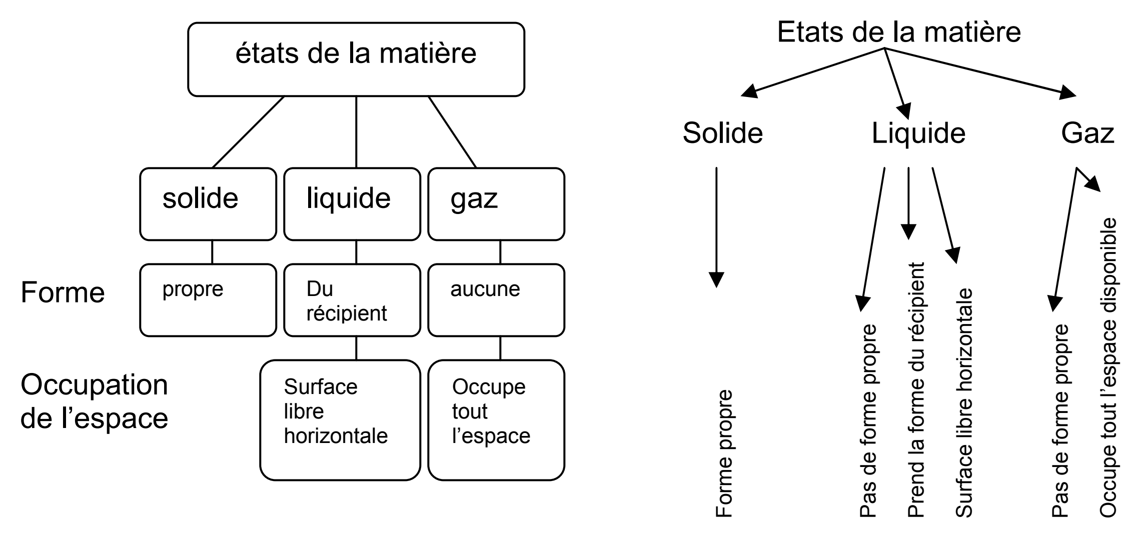


Figure 19 : organigramme ***Figure 20 . arborescence***

Le schéma conceptuel (ou conceptogramme, mind-map,…) peut aisément contenir des dessins et être complété lors d'autres chapitres sur le même thème, par exemple ici lorsqu'est abordé le modèle moléculaire expliquant les états de la matière ou avec les changements d'état.

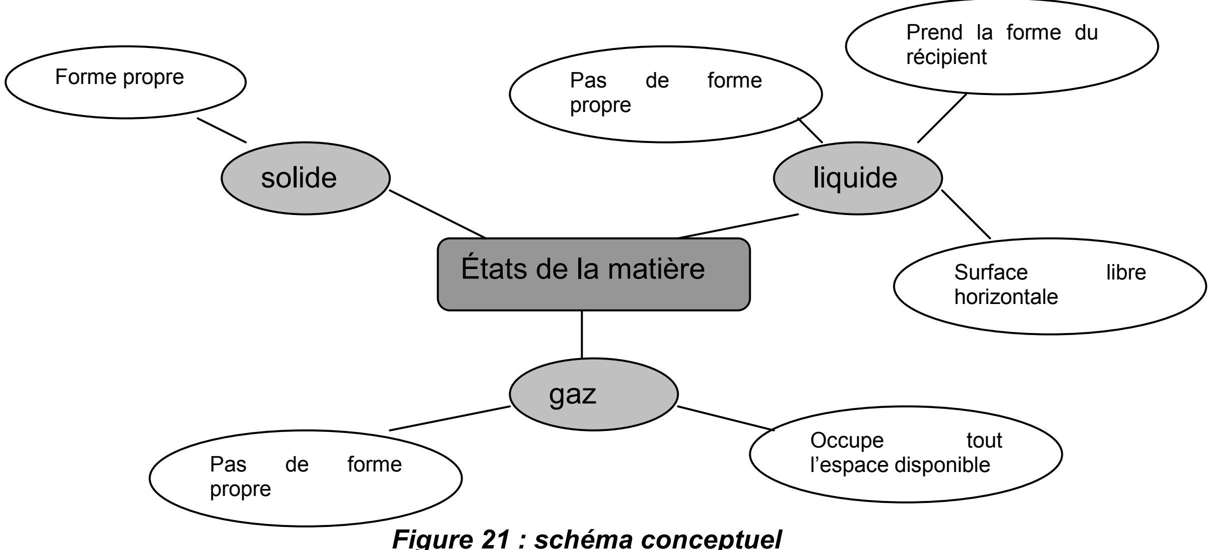


Figure 21 : schéma conceptuel

Ebullition de l'eau (act.1, chap.10, p.120) et chapitres suivants
C'est le moment de passer du tableau de résultats au graphique cartésien, en rappelant aux élèves que les mathématiques sont des outils avant d'être une discipline scolaire !
Une gradation est possible au cours des expériences sur les changements d'état : donner le graphique vierge avec les axes identifiées, donner l'ordonnée et l'abscisse, donner les grandeurs des axes sans préciser si elles sont sur l'ordonnée ou sur l'abscisse, demander de construire un graphique qui représente telle grandeur en fonction de telle grandeur, pour arriver dans l'idéal à ce que les élèves proposent la construction d'un graphique sans qu'elle soit demandée… Ne pas oublier d'exiger un titre précis et pertinent, ce qui n'est ni évident ni élémentaire pour les élèves !

Sans présenter d'activité particulière, les transformations mathématiques peuvent s'appliquer :
-lors des mesures de tension, intensité ou puissance électrique : calculs de moyennes ;
-lors de mesures de puissances : calculs de % de rendement
-en génétique : calculs de % de présence d'un caractère héréditaire dans une population, calcul de probabilités lors de la recombinaison chromosomique,…
-en environnement : calculs de rendement (%), d'évolutions (%), de peuplement (moyennes),…

8. L'interprétation des résultats

Même si elle n'apparaît pas forcément par écrit dans un rapport scientifique, cette étape ressort de l'activité intellectuelle de l'élève, qui ne peut passer des résultats à la conclusion sans interpréter les résultats.
Interpréter nécessite de pouvoir lire, comprendre et traduire les données obtenues lors de l'expérience et exprimées sous différentes formes de résultats : texte, tableau, graphique, schéma,… il faut ensuite émettre des hypothèses sur les liens possibles apparaissant entre les données des résultats (travail entraîné en *Analyse de données* en mathématiques).
Par exemple : si l'eau de chaux se trouble au contact du gaz obtenu et que l'élève sait que l'eau de chaux est un réactif testant la présence d'eau de chaux, il doit être capable de dire que le gaz obtenu est de l'eau de chaux.
Il faut parfois trier dans les résultats obtenus ceux qui sont utiles et pertinents pour répondre au problème posé et relever ce qui est intéressant.

Par exemple lors d'une expérience de changement d'état, l'élève obtient le graphique de la **figure 22.**
Il doit voir que la température augment au cours du temps et provoque un changement d'état, mais aussi relever qu'elle n'augmente plus à partir d'un certain moment ; il doit relier ces évolutions aux états de l'eau observés pendant l'expérience.
Il doit aussi ne pas considérer la température de 30°C comme significative par rapport au phénomène étudié puisqu'elle dépend de la température ambiante et du moment de relevé de la première mesure.

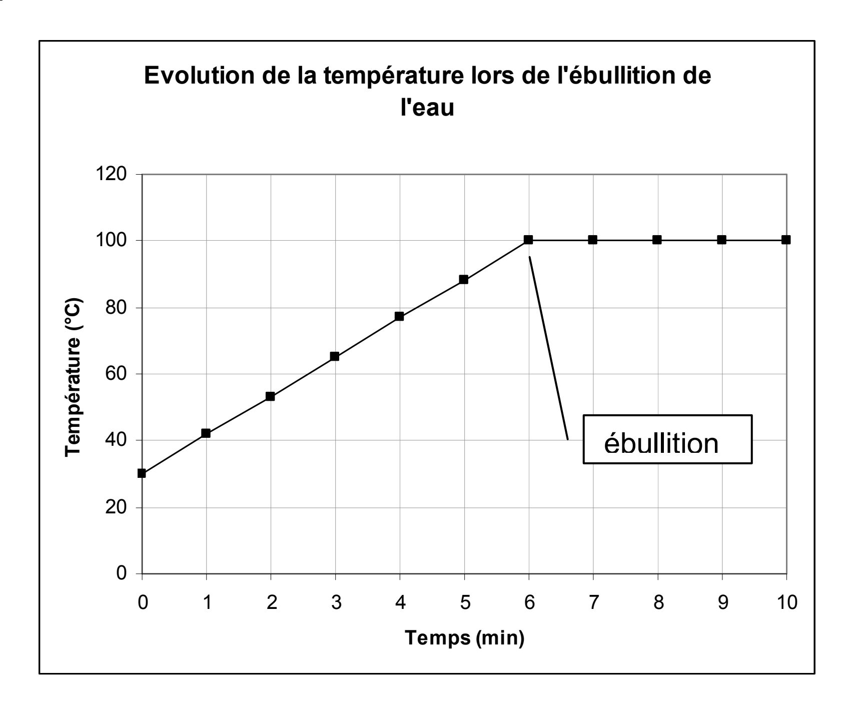


Figure 22 : graphique servant à l'interprétation des résultats dans une expérience d'ébullition de l'eau

Dire que l'eau a mis 6 minutes pour entrer en ébullition n'est pas non plus pertinent puisque cela dépend de l'appareil de chauffage et de la quantité d'eau. Ceci n'est pas évident pour les élèves, mais il est utile alors de confronter les résultats de plusieurs groupes pour relever les conclusions similaires, donc les facteurs reproductibles de l'expérience : les temps de chauffage seront différents, mais la température d'ébullition et de seuil (100°C) sera la même (à environ 1°C d'erreur, qu'il faudra encore expliquer !)

Ceci nous permet d'arriver à la composante la plus délicate de l'interprétation des résultats : juger de leur validité en les confrontant à d'autres informations et repérer les erreurs.
Les élèves peuvent confronter leurs résultats à ceux obtenus par d'autres élèves de la classe dans la même expérience. Ceci permettra de mettre en évidence certaines erreurs de réalisation, de mesures ou d'interprétations. Ils peuvent aussi confronter leurs résultats à ceux de la documentation, que l'enseignant peut fournir à bon escient à ce moment. La confrontation permet de valider ce qui va être traduit dans la conclusion. Cette compétence apparaît dans les attentes fondamentales de 3e cycle du PER :

Au cours, mais au plus tard à la fin du cycle, l'élève...

- *discute, débat, de la validité des hypothèses émises (sur la base de modèles tels que le modèle moléculaire) en regard de résultats expérimentaux et de leur précision* (PER, 2010)

La recherche des erreurs et de leurs sources possibles est délicate mais il est capital d'éviter des réponses du type « Ma bille se déplace à 3000 km/h sur le plan incliné » ou « La masse de cet objet (que j'ai soulevé lors de l'expérience) est de 4567 kg. » ; l'analyse d'erreur étant incluse dans le cursus des écoles polytechniques, nous ne l'envisagerons pas dans l'apprentissage de la démarche scientifique au niveau du cycle d'orientation ! L'enseignant peut cependant poser la question « Est-ce que c'était comme tu pensais que ce serait, et si non, pourquoi ? » et passer en revue les différentes étapes de l'opérationnalisation de l'expérience pour situer où aurait pu se passer quelque chose qui fausserait le résultat. Lors de divergences infimes du résultat (par exemple des températures d'ébullition qui ne sont pas toutes de 100°C, mais plutôt de 99°C, 99.5°C, voir 98°C) discuter de la valeur de cette différence par rapport au résultat : « est-ce que 0.5°C sur 100°C est aussi important que 0.5°C sur 3°C ? ». L'usage de la moyenne arithmétique peut ainsi être avantageusement introduit ici, avec son corollaire obligatoire : la multiplication du nombre de mesures.



J'obtiens (j'observe, je mesure) ceci, or je sais que cela veut dire que…

L'apprentissage de l'interprétation des résultats se fait beaucoup par l'interaction avec l'enseignant, lors de discussions sur les résultats obtenus ; il est aussi facilité par la réalisation d'exercices du type *Analyse une expérience* des livres Sciences 7e-8e-9e. Les exercices du type *Prévois un résultat* peuvent être avantageusement utilisé avec les élèves qui formulent les résultats avec difficulté ou qui ne repère par les facteurs non-pertinents dans leur résultats.

9. La conclusion

L'élève doit ici rendre compte de ce qu'il a fait, de ce qu'il a voulu faire, de ses résultats, et exploiter tout cela pour en tirer une conclusion, c'est-à-dire une définition, une loi, une règle, une convention, un modèle,… sous forme de texte ou de schéma-bilan. La conclusion fait ressortir les liens qui ont été établis entre les facteurs étudiés, liens qui devraient être constants c'est-à-dire vrais pour tous les exemples. Elle permettra de prédire l'apparition de faits dans des conditions identiques. Elle peut se présenter sous la forme de l'hypothèse, phrase affirmative, sans le conditionnel ou le *peut-être*.
Il doit pour cela reprendre son problème de départ et construire une nouvelle connaissance d'après les expériences réalisées en confrontant les hypothèses de départ et les résultats obtenus ; la conclusion doit être validée par les résultats des autres, par des documents ou par le maître, pour atteindre le statut de nouvelle connaissance ; elle doit être formulée par l'élève lui-même pour permettre à ce dernier la construction du sens.
En prolongement, si les expériences n'ont pas permis de résoudre le problème initial, il est judicieux de mentionner les causes d'erreurs possibles ou les moyens d'améliorer la qualité de l'expérimentation pour obtenir un résultat plus satisfaisant.



J'obtiens ceci, or je pensais obtenir ceci (cela), donc mon hypothèse…

En plus de la formulation par l'élève de son texte de synthèse, une deuxième compétence est utilisée ici : la présentation d'un document. On peut travailler sur le choix de récepteur (compte-rendu scientifique, article de journal, niveau des lecteurs,…) et sur l'utilisation et l'organisation de divers média (textes, photos, dessins, schémas,…). Ceci figure dans une attente fondamentale de 3e cycle du PER :

Au cours, mais au plus tard à la fin du cycle, l'élève...

- *rend compte d'une tâche scientifique oralement ou par écrit, confronte son avis à celui de ses pairs ou de spécialistes (documentaires, articles,…), argumente son point de vue* (PER, 2010)

Une attention particulière doit être portée au vocabulaire : précis et scientifique. Un langage commun permet une communication non équivoque entre les différents observateurs et permet donc les comparaisons de plusieurs résultats ou observations qui étaient peut-être subjectifs (voir §3).

Plusieurs pistes d'apprentissage peuvent être exploitées :
Donner un protocole et des résultats d'expérience et demander de rédiger la conclusion. On peut employer des expériences historiques (**tab. 4**), des expériences réalisées par d'autres classes ou utiliser les exercices du type *Analyse une expérience* des manuels Sciences 7e-8e-9e ainsi que d'autres expériences présentées dans les parties *Exercices*.
Donner plusieurs conclusions à choix et déterminer la meilleure. Ce type d'activité permet d'insister sur la formulation et la précision des contenus (sous quelles conditions,…) et du vocabulaire.
Rassembler les conclusions des élèves, les analyser et arriver à une formulation commune pour la classe. Il est important cependant que chaque élève garde sa formulation puisqu'elle correspond à son apprentissage, mais qu'il la complète si besoin est.

Textes de chercheurs :
William Harvey et la circulation (1628)
René de Réaumur et la digestion (1752)
Lazzaro Spallanzani et la digestion (1787)
Claude Bernard et les lapins à jeun (1856)
Wilhelm Röntgen et les rayons X (1895)
Becquerel et la radioactivité (1896)
Marie Curie et la radioactivité (1898)

Tableau 4 : textes historiques, voir l'annexe 2 pour des extraits de ces textes
A lire : *L'invention de la physiologie : 100 expériences historiques,* Rémi Cadet, Ed. Belin, 2008

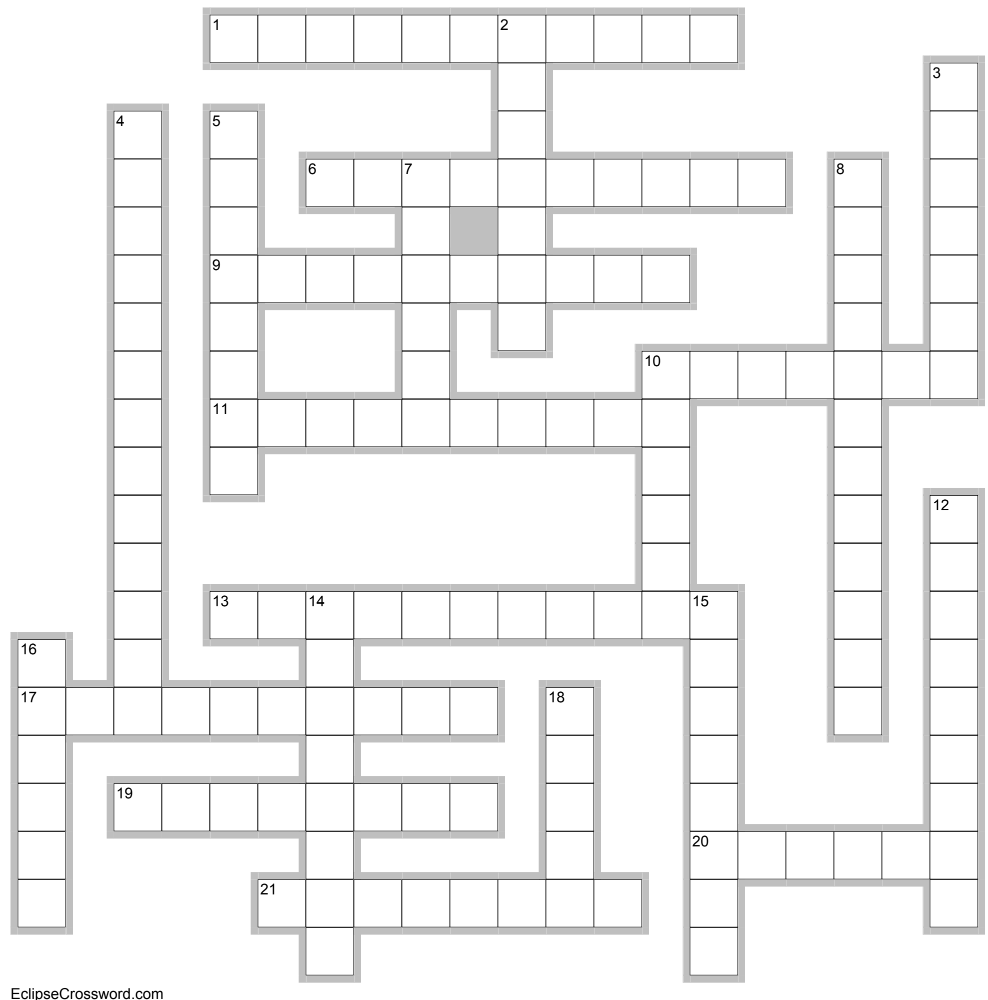
10. Tout !

Contrairement au suivant, ce paragraphe ne présente pas la réalisation d'une démarche scientifique complète, mais une récapitulation des concepts étudiés par étapes auparavant, pour les répéter et les lier les uns aux autres.
Le fait de consacrer un peu de temps à la définition de la démarche en tant que telle, et non au travers d'un contenu scientifique, lui donne un statut pour les élèves, comme une connaissance méthodologique qu'ils doivent aussi acquérir. Il est important que les élèves se rendent compte que « la science est autant un processus qu'une liste de connaissances à acquérir. » (PER, 2010)
Quelques activités courtes sont présentées ci-dessous ; elles sont aisément réalisables quand il reste un peu de temps à la fin d'un cours ou à la fin d'un chapitre, sans être forcément à mettre dans le programme annuel de manière fixe.

Exemples d'activités

Mots croisés

Mots croisés : la démarche scientifique



EclipseCrossword.com

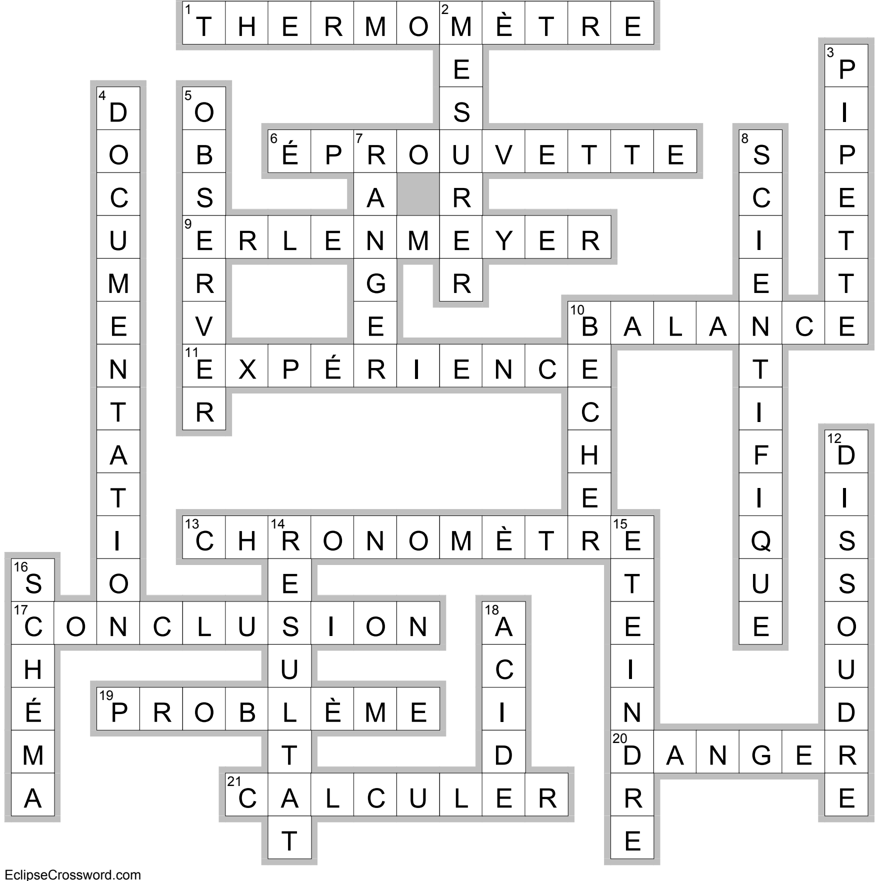
Horizontal

1. Instrument de mesure de la température.
6. Tube allongé utilisé en laboratoire.
9. Récipient de laboratoire à base conique et à col cylindrique.
10. Instrument de mesure de la masse.
11. Test pratique d'un phénomène en isolant les paramètres.
13. Instrument de mesure du temps.
17. Texte de la partie finale d'une recherche.
19. Situation où un obstacle empêche la connaissance complète.
20. Le non-respect des règles de sécurité peut en entraîner un.
21. Traiter plusieurs nombres pour obtenir un résultat.

Vertical

2. Déterminer une dimension.
3. Tube plus ou moins fin servant à prélever une solution.
4. Elle peut être livresque, audiovisuelle ou informatique mais donne beaucoup de renseignements.
5. suivre des phénomènes sans les modifier.
7. Dernière étape d'une expérience.
8. Peut caractériser une démarche de recherche empreinte de rigueur et de précision.
10. Récipient de laboratoire cylindrique, à fond plat, au bord haut légèrement évasé et muni d'un bec verseur.
12. Mettre en solution un soluté dans un solvant.
14. On espère en obtenir un lors d'une démarche scientifique !
15. Ne jamais oublier de le faire à la fin de l'utilisation d'un appareil.
16. Représentation graphique qui ne sélectionne que les éléments importants.
18. Contraire de basique.

Solution



Dessinez les sciences, c'est gagné !

Sur le mode du jeu « Dessinez, c'est gagné ! », avec les mots suivants, à adapter en fonction des activités réalisées en classe : scientifique, un scientifique, bécher, erlenmeyer, bec Bunsen, thermomètre, chronomètre, pipette, balance, allumer, problème, éteindre, mesurer, mélanger, danger, dissoudre, calculer, observation, hypothèse, expérience, résultat, conclusion, flotter, noisette (si vous avez réalisé l'activité d'observation !), documentation, acide, éprouvette, schéma, question, etc.

En désordre

Dans quel ordre doit se dérouler une démarche scientifique ?

A	Comment est-ce que ?
B	En premier, on…
C	Comment ça fonctionne ?
D	A mon avis, c'est…
E	J'observe que…
F	Il faudrait...
G	Pour quoi c'est comme ça ?
H	Je pense que…
I	J'ai vu que…
J	Nous avons mesuré que…
K	On a besoin de …
L	Nous avons vu que…
M	Il faut faire….
N	D'après ces résultats, nous pensons que…
O	Nous avons calculé que…
P	On en déduit que…
Q	Les résultats montrent que…

①…
②…
③…
④…
⑤…
⑥…
⑦…

Réponse : ①(Observation) : E / I
②(Problème) : A / C / G (insister sur la forme interrogative de cette étape)
③(Hypothèses) : D / F / H
④(Expérience) : B / K / M
⑤(Résultats) : J / L / O (insister sur l'emploi du nous pour un résultat collectif)
⑥(Interprétation) : N / Q
⑦(Conclusion) : P

Nommer les étapes n'est pas primordial, alors que les ordonner selon un raisonnement logique possible est plus important.

C'est quoi ?

Au contraire du précédent, cet exercice insiste sur le fait de nommer les différentes étapes, ce qui peut permettre aux élèves en difficulté de mieux les distinguer et ainsi de mieux savoir ce qu'ils ont à faire à chaque étape. On enseigne ainsi les méthodes, qui ne sont pas une évidence pour tous les élèves !
Et quand on voit le nombre de compétences qui doivent être maîtrisées pour réaliser une démarche scientifique, ou le nombre de lignes dans le tableau ci-dessous, il paraît évident que cela s'apprend…et par étapes !

Identifie chaque action à l'étape correspondante de la démarche scientifique :



1	Je me demande ce qui cause ce phénomène.
2	Je vérifie mes résultats chez mes camarades / dans un livre /…
3	Je regarde attentivement l'objet.
4	Je construis un schéma qui rassemble toutes les informations trouvées.
5	J'organise ma place de travail.
6	J'écris les étapes de l'expérience.
7	Je remplis un tableau / un graphique.
8	Je rédige une phrase qui réponds à ma question initiale..
9	Nous nous répartissons les rôles.
10	Je me demande pourquoi c'est comme ça.
11	Je réalise un tableau / un graphique.
12	Je nomme les instruments nécessaires aux mesures.
13	Je pose une question qui pourrait répondre à mon problème.
14	Je lis le mode d'emploi.
15	Je lis un tableau / un graphique.
16	J'identifie le(s) facteur(s) en jeu.
17	Je schématise le montage.
18	Je travaille proprement.
19	Je choisis un tableau / un graphique.
20	J'observe avec soin toutes les parties de l'objet.
21	Je dis ce que je vois dans l'expérience.
22	Je fais la liste du matériel nécessaire.
23	Je ne gaspille rien.
24	Je présente mes résultats oralement.
25	J'interprète des mesures.
26	J'organise le déroulement de l'expérience.
27	Je réalise l'expérience.
28	Je range mon poste de travail.
29	Je réalise un poster présentant ma démarche.
30	Je relie mes résultats à ce que je connais déjà.
31	Je prends note des mesures.
32	Je suis les règles de sécurité.
33	Je calcule.
34	Je me demande comment ça fonctionne ?
35	Je réfléchis comment mesurer un facteur.
36	Je prépare le tableau de résultats.

L'observation : ....
L'identification du problème : ....
Les hypothèses : ....
L'expérience : ....
Les résultats : ....
L'interprétation des résultats : ....
La conclusion : ....

Solution :
L'observation : 3 / 20
L'identification du problème : 1 / 10 / 13 / 34
Les hypothèses : 16 / 35
L'expérience : 5 / 6 / 9 / 12 / 14 / 17 / 18 / 22 / 23 / 26 / 27 / 28 / 32 / 36
Les résultats : 7 / 11 / 19 / 21 / 31 / 33

L'interprétation des résultats : 2 / 15 / 25 / 30
La conclusion : 4 / 8 / 24 / 29

Mémory

Ce Memory de 2x48 cartes (voir annexe 9) est à adapter en fonction des connaissances des élèves : concepts, matériel, scientifiques célèbres (des fiches sur les scientifiques célèbres avec leur portrait sont avantageusement affichées en classe sinon la réalisation du Memory devient difficile !)

11. Réalisation d'une démarche scientifique complète

Ca prend du temps ! Oui et alors … Mieux vaut avoir travaillé les étapes au cours du programme et ne réaliser qu'une ou deux fois par année une démarche complète, en laissant le temps nécessaire aux élèves pour qu'ils soient réellement chercheurs. Donc faire moins, mais mieux !
Il s'agit alors pour l'enseignant de sélectionner quel thème du programme est bien adapté à une recherche complète de la part des élèves. Il peut aussi se laisser guider par une question posée à l'improviste, mais qui a l'avantage d'être celle d'un élève. Si la résolution de cette question peut faire intervenir des questions liées au contenu du programme, tant mieux ! Il suffit alors de modifier l'ordre de la planification annuelle pour « retomber sur ses pieds ». Au lieu d'un programme, l'enseignant de sciences pourrait avoir un certain nombre de séquences, fiches, activités,… qu'il appelle comme il veut, qui couvrent le contenu officiel et qu'il pourrait amener à sa guise en fonction de l'intérêt des élèves, de la période de l'année, du temps qu'il reste avant les vacances, de l'actualité,… Et quand l'enseignant est un parfait jongleur, il rejoindra les clowns dans le grand cirque de l'école ! Et si la question de l'élève est hors-sujet (par rapport au sujet choisi par l'enseignant !), est-ce que les élèves ne gagneraient-ils pas à apprendre quelque chose de sa résolution ? Et s'ils n'apprennent que la méthode de la démarche scientifique, elle leur sera peut-être utile et elle est aussi « au programme » (même si elle n'est que dans les premières pages…) !



Pour chaque année de programme ont été sélectionnés quelques thèmes qui se prêteraient bien à la réalisation d'une démarche complète par les élèves. Deux ressources proposant des démarches complètes sont ensuite citées. Même si les contenus ne rejoignent pas ceux du programme valaisan actuel, leur réalisation permet de clarifier beaucoup de thèmes et de découvrir les vraies questions que se posent les élèves… Un bon point de départ pour une démarche scientifique complète consiste à utiliser des slogans publicitaires du type « La lessive qui lave plus blanc » (**fig. 23**)…lave-t-elle réellement plus blanc ? Et la crème amincissante…et…

Figure 23 : Lave-t-il réellement plus blanc ? © Brocante Vesseaux Aubenas

Exemples d'activités

Sciences 7^e^

Quelles sont les différences entre le vin, le champagne et une eau-de-vie ?
→ notions de mélanges, de dissolution d'un gaz dans un liquide, d'acidité, de solution, de séparation des mélanges (distillation), de fermentation, d'unicellulaires, de respiration,…

Sciences 8^e^

Comment le savon repousse-t-il la saleté ?
→ notion de microbes, de détergent, de molécules, de mélanges,… L'enseignant peut avoir dans son sac à expériences la petite manipulation du poivre repoussé par le savon à la surface de l'eau.[9]
Quels sont les produits qui tuent les microbes ?
→ notions de microbes, de détergent, d'antiseptique, de contamination, de témoin,…. L'enseignant peut utiliser par morceaux une expérience de son sac à expériences : « Un jus de pomme malade »[10].
Pourquoi les Dupont sautent-ils ainsi sur la Lune ? (**fig. 24**) ou *Quelle est l'origine des Moon-Boots ?* (**fig. 25**)

[9] Voir l'annexe 3, l'expérience « Comment le savon repousse la saleté »
[10] Voir l'annexe 4, l'expérience « Un jus de pomme malade »

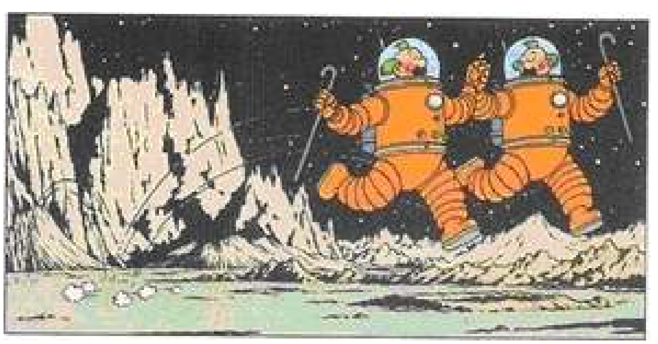


Figure 24 : la pesanteur ou l'apesanteur ?
© *On a marché sur la Lune*, Hergé, Casterman, 1954



Figure 25 : Moon-Boot
© Tecnica

→ notions de force de pesanteur, recherche avant tout documentaire, mais peut être étendue à la force de pesanteur sur terre, avec sa mesure (et d'ailleurs, comment la mesurer ? avant de distribuer des dynamomètres...)

Sciences 9^e^

Quel appareil électrique est-ce que j'utilise le plus ? Est-il le plus performant ?
→ notions de tension, intensité, puissance, résistance, économie, énergie,…
Quels sont les composants minimaux pour pouvoir reproduire un être vivant à l'identique ? ou *Peut-on refaire des mammouths ?*
→ notions de génétique, chromosomes, cellules, vivant, clonage,…

Et hors-programmes, mais riches :

Tout doux PQ
Cette activité est proposée dans le cours d'observation scientifique du CO Genève. Elle consiste à tester plusieurs papiers toilette pour en évaluer la qualité (voir sous http://bdp.ge.ch/webphys/recherche/fichiers/OS/Commissi.activite.472.pdf). Elle a l'avantage de relier la science non pas à la recherche mais à l'application et à l'ingénierie avec un domaine riche : les sciences des matériaux.

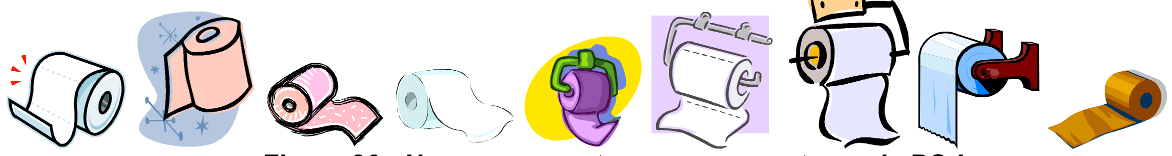


Figure 26 : Nous sommes tous consommateurs de PQ !

Tous petits tous différents
…et tout simple : les élèves doivent mettre en œuvre une démarche pour identifier quelques échantillons de petites billes de natures différentes (graines, minéraux, aliments,…) (voir sous http://lamap.inrp.fr/index.php?Page_Id=6&Element_Id=57&DomainScienceType_Id=3&ThemeType_Id=5). Le nombre de questions annexes de toutes sortes que génère cette activité est inversement proportionnel à sa simplicité… à vous de gérer !

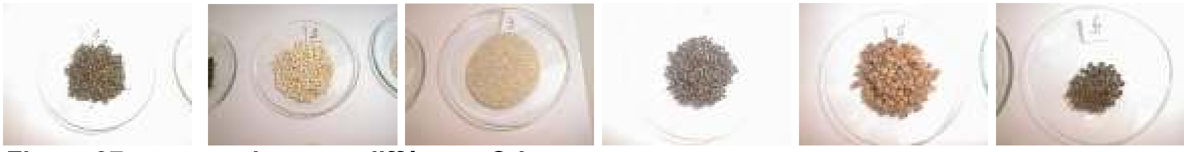


Figure 27 : tous petits, tous différents © Lamap

12. Le témoin

La notion de témoin est essentielle en sciences ; elle consiste à réaliser deux expériences au lieu d'une, en isolant le paramètre à tester (la variable). Cette variable sera présente (ou absente) dans l'expérience principale et absente (ou présente) dans l'expérience témoin. L'expérience principale ne doit avoir qu'une seule différence avec l'expérience témoin
N'importe quelle expérience peut être l'objet de la découverte de la notion de témoin. Il est utile de le faire assez tôt dans l'apprentissage de la démarche, ou dès qu'un élève le propose, pour ancrer la notion et permettre sa réutilisation dans d'autres démarches, avec le but que cela devienne spontané !
De manière générale, pour entraîner la notion de témoin, différentes activités sont adaptables à beaucoup de démarches :

- proposer des montages ou des résultats expérimentaux en demandant d'identifier les témoins ;
- proposer une liste d'expériences avec ou sans témoin et demander laquelle suffirait pour prouver l'hypothèse ;
- Identifier les témoins de plusieurs expériences dans une liste.

Le terme de ***témoin*** apparaît dans les expériences sur les vaccins présentées aux pages 62-63 (*Sciences 8*e), qui peuvent servir de support à l'explication.

Exemples d'activités

***Sciences 7*e**

Identifier le témoin dans les expériences suivantes :
L'air a-t-il une masse ? p. 17
Le témoin est la mesure de la masse du ballon avant gonflage.
Echanger des gaz respiratoires, montages de respiromètres p. 122 (ou p. 220)
Le témoin est le montage vide R1.
Le déclenchement d'un mouvement p. 206
Le témoin est le test obtenu les yeux ouverts (doc. a)
Des aliments qui semblent disparaître p. 247
Le témoin est le tube qui contient seulement la viande et l'eau.
L'origine des règles p.264
Le témoin est l'image de la couche interne de la paroi de l'utérus avant l'ovulation (doc. a)

Demander d'imaginer l'expérience témoin pour :
Les boissons et les aliments contiennent-ils de l'eau ? p. 24
Le témoin serait de verser du sulfate de cuivre anhydre sur de l'eau et d'observer le changement de couleur, ainsi que sur un liquide qui ne contient pas d'eau (huile, alcool), mais c'est difficile de l trouver à ce stade pour les élèves (l'expérience sert plutôt à découvrir dans quel liquide il n'y a pas d'eau !)
Quel gaz est contenu dans les eaux gazeuses ? p. 48 et *Les gaz ont-ils une masse ? p.49*
Le témoin serait de faire les mêmes expériences avec des bouteilles d'eau minérale naturelle non gazeuse.
L'oxygénation de l'eau en présence de plantes aquatiques mortes p. 151
Le témoin serait de laisser un deuxième récipient avec seulement de l'eau à 20°C.

Identifier l'expérience témoin dans des résultats :
« Quels sont les besoins d'une plante verte ? »

Les élèves ont réalisé plusieurs expériences dans des conditions différentes. Le **tableau 5** présente les résultats des différents groupes.

	CONDITIONS EXPERIMENTALES			
	LUMIERE	EAU pure	ENGRAIS en granulés	RESULTATS
GROUPE 1	oui	oui	oui	La plante se développe, elle fabrique des racines, des feuilles
GROUPE 2	non	oui	oui	La plante meurt
GROUPE 3	oui	non	oui	La plante meurt
GROUPE 4	oui	non	non	La plante meurt
GROUPE 5	oui	oui	non	La plante meurt

Tableau 5 : résultats d'expériences de privation d'un élément dans la croissance d'une plante verte

1) Quel est le groupe qui a réalisé l'expérience témoin ? *Réponse : groupe 1 car ils n'ont pas modifié de variable.*
2) Quel est le groupe dont les résultats sont inexploitables ? Pourquoi ? *Réponse : groupe 4 car ils ont modifié deux variables et on ne peut pas dire si la plante meurt par absence d'eau ou d'engrais.*

Identifier l'expérience discriminatoire dans une série :
Digestion de l'amidon (chap. 22)
Le professeur a montré que l'amidon cuit, mis à bouillir pendant une heure avec de l'eau et de l'acide chlorhydrique, se transformait en glucides simples sucrés. Il fait remarquer à la classe que dans la bouche, quand on mâche quelques minutes du pain riche en amidon, un goût sucré apparaît. Les élèves émettent l'hypothèse que, dans la bouche, grâce à la salive, l'amidon est transformé en glucides simples sucrés. Le professeur met à la disposition des élèves le matériel suivant :
- de l'eau ;
- de l'amidon cuit ;
- de l'acide chlorhydrique ;
- de la salive artificielle, qui a le même effet que la salive naturelle.

Le professeur demande ensuite aux élèves de proposer par écrit une (ou des) expérience (s) pour tester expérimentalement l'hypothèse qu'ils ont formulée.
Entourer le seul texte qui propose la (ou les) expérience(s) qui conviennent.

A : Il faut réaliser deux expériences :
Expérience 1 : mélanger l'eau, l'amidon cuit, l'acide chlorhydrique, la salive artificielle.
Expérience 2 : mélanger l'eau et l'amidon cuit

B : Il faut réaliser deux expériences :
Expérience 1 : mélanger l'eau, l'amidon cuit et la salive artificielle
Expérience 2 : mélanger l'eau et l'amidon cuit

C : On mélange l'eau, l'amidon cuit et la salive artificielle.

D : Il faut réaliser deux expériences :
Expérience 1 : mélanger l'eau, l'amidon cuit et la salive artificielle
Expérience 2 : mélanger l'eau, l'amidon cuit et l'acide chlorhydrique

E : Il faut réaliser deux expériences :
Expérience 1 : mélanger l'eau, l'amidon cuit et l'acide chlorhydrique
Expérience 2 : mélanger l'eau et l'amidon cuit

Réponse : la proposition D permet de comparer l'action de la salive à celle de l'acide chlorhydrique et donc de valider l'hypothèse formulée par les élèves.
Adapté de :
Choix d'un protocole expérimental, d'une expérience et d'une expérience témoin, Académie de Paris

Sciences 8^e^

Identifier le témoin dans les expériences suivantes :
L'expérience de Pasteur p. 60
Le témoin est l'expérience 3.

Demander d'imaginer l'expérience témoin pour :
Des microorganismes dans l'air p. 24
Le témoin serait une boîte de culture contenant de la gélose, placée une semaine à 25°C, mais qui n'a pas été ouverte (nous insistons sur la reprise de toutes les variables non-modifiées).

Associer par une flèche la seule expérience (1, 2 ou 3) qui permet de tester l'hypothèse et le témoin de cette expérience (a, b ou c).
Percevoir son environnement (chap. 6) : est-ce le muscle radiaire qui provoque la dilatation de la pupille ? Hypothèse : chez un animal, la section du nerf relié au muscle radiaire provoque la contraction de la pupille.

Expériences			Témoins
on sectionne le nerf relié au muscle radiaire	**1 ●**	**● a**	on stimule le nerf relié au muscle radiaire
on stimule le nerf relié au muscle radiaire	**2 ●**	**● b**	on laisse tous les nerfs intacts
on sectionne le nerf relié au muscle radiaire et le nerf relié au muscle sphincter	**3 ●**	**● c**	on sectionne le nerf relié au muscle radiaire

Réponse : 1-b (pour plus d'informations voir l'annexe 8)

Sciences 9^e^

Identifier le témoin dans les expériences suivantes :
La levée de la pâte à pain p. 260
Le témoin est la pâte n°3, chaque autre pâte ne faisant varier qu'un paramètre (pâte n°1 : absence de chaleur, pâte n°2 : absence de levure, pâte n°4 : trop de chaleur).

Demander d'imaginer l'expérience témoin pour :
Quels matériaux conduisent le courant p. 22
Le témoin serait le circuit test (image 4) fermé.
La transformation de la pâte à pain p. 261 et *Une fermentation en direct p. 269*
Les témoins seraient les mêmes montages une fois sans glucose, une fois sans levure et une fois avec de l'eau froide.

13. Le nombre de mesures

Il n'est pas évident pour les élèves qu'une seule mesure n'est pas fiable. De même, ils sont surpris lorsque chaque groupe de la classe n'obtient pas le même résultat de mesures, d'autant plus si celui-ci diffère légèrement de la valeur mentionnée dans un document (manuel,…). Ici entrent donc en jeu des notions mathématiques telles que l'estimation de grandeurs (quel chiffre est significatif), l'arrondi (et ses conditions d'application), la moyenne arithmétique, …ou les prémices de la statistique !
Ces notions font d'ailleurs l'objet du PER en mathématiques, dans l'objectif **MSN 34** *Mobiliser la mesure pour comparer des grandeurs :*

- *en estimant l'importance relative des grandeurs dans un phénomène naturel ou social*
- *en estimant la mesure des grandeurs* (PER ; 2010)

Les élèves ne sont donc pas du tout familiers avec ces concepts et la notion d'erreur n'est pour le moment compréhensible que du seul enseignant. Les expériences réalisées en classe vont faire apparaître ces problèmes et, sans évaluer ces compétences, il est alors pertinent (mais pas facile) d'en discuter.
L'important sera d'arriver à faire comprendre aux élèves qu'un résultat significatif ne peut être obtenu qu'avec une série de mesures, et non pas à partir d'une seule mesure.

Exemples d'activités

Sciences 7^e^

Tant la maturité des élèves que le contenu de notre programme de 7e (peu de résultats numériques) font qu'il est difficile d'enseigner l'importance du nombre de mesures pendant cette année-là.
Certains tableaux de résultats (comme les courbes de croissance ex. 7, chap. 23, p.269) permettent d'introduire la notion de moyenne.

Sciences 8^e^

Calcul de moyenne
Fréquences cardiaques et fréquences respiratoires (chap.1) de tous les élèves de la classe.
Température de l'eau qui bout (chap.10. p. 120)
Température de solidification et de fusion de l'eau (chap. 11, p. 128)
Mesures de poids (chap. 20, p. 225)
Détermination des chiffres significatifs
Température de l'eau qui bout (chap.10. p. 120)
Température de solidification et de fusion de l'eau (chap. 11, p. 128)
Répétabilité des mesures
Conservation de la masse lors d'une réaction chimique (chap. 15, p. 161)
Mesures de poids (chap. 20, p. 225)
Mesures de la force d'Archimède (chap. 21, p. 238)

Sciences 9^e^

Calcul de moyenne
Lois concernant l'intensité et la tension électrique (chap. 7)
La puissance et l'énergie (chap. 11)
Détermination des chiffres significatifs
Lois concernant l'intensité et la tension électrique (chap. 7)
La puissance et l'énergie (chap. 11)
Répétabilité des mesures
Mesures d'intensité et de tensions dans un circuit électrique (chap. 6)
Lois concernant l'intensité et la tension électrique (chap. 7)

La puissance et l’énergie (chap. 11)

Le calcul de probabilités étant au programme de mathématiques de 9e année, la génétique est un domaine où cette notion s’applique (transmission mendélienne de caractères).

14. Evaluation

La science étant « *autant un processus qu'une liste de connaissances à acquérir.* » (PER, 2010), pourquoi n'évaluer que des connaissances ? La démarche scientifique peut aussi s'évaluer.

Classiquement, l'évaluation peut prendre trois formes : diagnostique, formative et terminale ou sommative. L'évaluation diagnostique se fait implicitement lors des premières étapes d'une démarche scientifique, lors des questions des élèves ou de l'émission de leurs hypothèses. La pratique de l'évaluation formative devrait insister sur la métacognition : comment l'élève réfléchit-il à ce qu'il fait et comment cette réflexion évolue-t-elle ? Nous nous centrerons sur une évaluation terminale, qui interviendra à la fin d'une série d'expériences menées en classe, et dans le but de donner une note. En gardant en tête que « *contrôler l'acquisition des connaissances et des compétences, c'est tester le réinvestissement possible, plutôt que la seule capacité de redire (ou réécrire) ce que le maître demande.* »[9], nous ne donnerons dans cette partie que des pistes pour évaluer les compétences acquises lors de l'apprentissage des étapes d'une démarche scientifique.
Il est certainement possible d'évaluer une démarche complète, sur la base d'un dossier ou d'un exposé ; ceci fait partie des pratiques courantes des enseignants, à l'instar de dossiers rendus en géographie, histoire ou autre. Pour éviter que des élèves qui échouent lors des premières étapes d'une démarche ne puissent pas exprimer leurs compétences pour les étapes subséquentes, un système de temps maximaux pour chaque étape peut être mis en place. Par exemple, si au bout du temps fixé pour l'élaboration d'un protocole expérimental, l'élève n'a aucune idée de ce qu'il pourrait faire pour tester l'hypothèse, l'enseignant lui fournit le protocole mais aucun point n'est attribué pour cette étape ; l'élève peut cependant continuer sa démarche.
Par rapport au séquençage présenté ici, il est intéressant de pouvoir évaluer l'une ou l'autre étape, ce qui est également beaucoup moins chronophage et peut se faire de manière très ponctuelle. Il s'agit alors de fournir aux élèves certaines parties d'une démarche et de lui demander de ne se consacrer qu'à une seule partie, comme le proposent les exemples suivants (adapté de G. De Vecchi[9]):

- Poser un problème nouveau et demander aux élèves d'émettre des hypothèses ;
- Donner un modèle explicatif et demander comment en tester la validité ;
- Décrire un montage, les résultats et l'interprétation d'une activité (ex. tester l'attirance ou la répulsion du ver de terre à l'humidité) et demander de concevoir et de réaliser une expérience permettant de tester un facteur similaire (ex. tester les préférences concernant la lumière sur la même espèce ou sur une autre).
- Faire critiquer une expérience d'élève ou de manuel scolaire, la réalisation d'un schéma,…
- Demander de proposer un protocole expérimental face à une hypothèse proposée, sans le réaliser ;
- …

On y évalue alors plus des compétences que des connaissances ! Evaluer des compétences qui se construisent progressivement prend du temps et on ne peut pas tout évaluer en même temps Il n'y a pas d'expériences qui permettent d'évaluer tous les items d'une grille d'évaluation parfaite de la démarche scientifique. On peut évaluer à travers les productions d'élèves (rapports d'expériences, cahiers d'expériences) et observer comment évoluent les compétences entre le début et la fin d'une période. Les compétences sont nombreuses et toutes essentielles ; G. De Vecchi[11] en relève neuf, générales, dans la réalisation d'une démarche scientifique, et nous pouvons les relier aux compétences transversales telles que le PER les définit (PER, 2010) (**tab. 6**).

[11] G. De Vecchi, *Enseigner l'expérimental en classe*, Hachette, 2006

Compétences (G.De Vecchi)	***Compétences transversales (PER)***
Ouverture aux autres	Collaboration
Travail de groupe	
Communication	Communication
Curiosité	Stratégies d'apprentissage
Confiance en soi	
Envie de chercher	
Créativité	Pensée créatrice
Pensée critique	Démarche réflexive
Ouverture à l'environnement	

Tableau 6 : comparaison des compétences mises en œuvre dans une démarche scientifique, selon G. De Vecchi (Enseigner l'expérimental en classe, Hachette 2006) et dans le PER.

Pour situer le niveau de compétences, on peut se référer aux niveaux d'acquisition proposés par G. De Vecchi[9] (voir annexe 5)
Pour obtenir un outil d'évaluation utilisable, il s'agit maintenant de définir les critères nécessaires à l'évaluation de chaque compétence. Elles peuvent s'observer lors de différents moments ou de différentes actions : le comportement dans la classe, avec les autres élèves, lors d'une activité ; le savoir-faire de l'élève lors de la pratique expérimentale ; le savoir-faire de l'élève en terme de méthodes d'investigation. Ces trois « moments » sont un outil pour classifier les critères d'évaluation des compétences (**tab. 7**) et ainsi pour aider l'enseignant à les observer.

Compétences	Comportement de l'élève *L'élève…*	Savoir-faire expérimental *L'élève…*	Savoir-faire méthodique *L'élève…*
Ouverture aux autres Travail de groupe	Collabore dans la discussion du groupe Collabore dans les manipulations Travaille dans le calme	Respecte les consignes	Répartit le travail au sein du groupe
Communication	Respecte les hypothèses / arguments / propositions des autres Adapte sa présentation au public cible	Collecte ses résultats dans un document adapté (tableau, graphique,…) Décrit le montage expérimental dans un schéma avec des légendes	Argumente Démontre Présente la démarche suivie à l'aide d'un langage et d'outils scientifiques (oral ou écrit) Présente les résultats avec un moyen adapté (tableau, schéma,…) Présente son travail de manière soignée
Curiosité Envie de chercher Confiance en soi	N'abandonne pas en cas d'échec de l'expérience	Propose des tests possibles Imagine une expérience apportant des réponses à un problème	Pose des questions Recherche l'information utile Présente au moins une hypothèse
Créativité		Invente des moyens/méthodes expérimentaux	Présente plusieurs hypothèses
Pensée critique	Sait critiquer le travail des autres avec justesse et sans jugement Sait accepter les critiques	Calcule Evalue la validité des résultats mathématiques / expérimentaux Repère les sources d'erreurs ou les	Extrait l'information utile Organise l'information utile Démontre la cohérence entre l'hypothèse et le résultat (ou

		disfonctionnements d'un montage	l'incohérence) Tire une conclusion Sait critiquer son travail
Ouverture à l'environnement	Suit les consignes de sécurité	Manipule avec soin Mesure avec précision Range sa place de travail Connaît et nomme le matériel S'organise dans le temps	Transforme une question en un problème scientifique

Tableau 7 : critères permettant d'évaluer les compétences lors d'une démarche scientifique

Chacun de ces critères peut devenir une compétence en lui-même et être critérié, en fonction du niveau des élèves. Pour un exemple simple, une présentation soignée peut se décliner avec les critères suivants : lisibilité de l'écriture, choix d'une mise en page, présence de titres / sous-titres,…
C'est ensuite à l'enseignant de créer sa propre grille d'évaluation en fonction du niveau des élèves, des compétences travaillées en classe ainsi que des compétences évaluables lors de l'activité qui sert pour l'évaluation. Les grilles peuvent comporter des réponses de type oui / non ou des réponses nuancées selon des niveaux. Une notation peut être effectuée si une proportion égale des compétences et des types de savoirs sont pris en compte.
Deux exemples de grilles « à usage multiple » sont présentés dans les tableaux 8 et 9. Dans l'annexe 6, vous trouverez une grille évaluant le test de reconnaissance de l'eau avec le sulfate de cuivre et une grille évaluant un montage mesurant l'intensité du courant.

Nom de l'élève :			
Démarche :			
1.	L'élève a émis une hypothèse.	oui	non
2.	L'élève a proposé un moyen de tester.	oui	non
3.	L'élève a choisi le matériel adéquat.	oui	non
4.	L'élève a utilisé le matériel correctement.	oui	non
5.	L'élève a présenté ses mesures dans un tableau.	oui	non
6.	L'élève a rédigé une conclusion.	oui	non
7.	L'élève a présenté un travail soigné.	oui	non
8.	L'élève a collaboré à la recherche.	oui	non
9.	L'élève a rangé sa place de travail.	oui	non
10.	L'élève a confronté ses résultats à …(au choix : ses hypothèses, les résultats de ses camarades, des documents de validation,…)	oui	non
	Total (oui = 1, non = 0)		**/10**

Tableau 8 : grille d'évaluation d'une démarche scientifique 1 (type simple, niveau basique)

Nom de l'élève		**Date**			
		Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
1.	Collaboration, travail de groupe	Ne coopère pas, ne participe que quand cela lui est imposé	Coopère seulement si besoin.	Coopère temporairement sans s'impliquer de manière globale.	S'implique totalement dans le groupe. Peut prendre le rôle de leader sans imposer.
	- lors de l'organisation de la démarche				
	- lors de la réalisation pratique de l'expérience				
	- lors de la présentation du travail				
2.	Communication	Ne s'implique pas à la rédaction ou à la présentation orale.	Présente son travail sans chercher à se faire comprendre.	A le désir de communiquer, mais ne maîtrise pas les moyens.	Communique de manière claire et construite.
	- organisation des résultats (tableau, schéma,…)				
	- écoute des autres				
	- présentation écrite / orale				
	- adaptation au public-cible				
3.	Curiosité	Reste inactif.	Curiosité superficielle, sans finalité réelle.	Curiosité ponctuelle, pose des questions parfois décalées.	S'étonne, pose des questions en lien avec le sujet.
	- lors de la présentation de la problématique				
	- lors de l'émission d'hypothèses				
	- lors de la réalisation pratique de l'expérience				
	- lors du traitement des résultats				
4.	Envie de chercher, confiance en soi	Passif, attend du maître ou des camarades.	Entre dans la recherche si on lui demande, si on le guide,…	Recherche par lui-même mais s'arrête en cas d'échec.	Recherche par lui-même plusieurs possibilités et surmonte les échecs.
	- lors de la présentation de la problématique				
	- lors de la conception de la partie pratique				
	- lors de la réalisation pratique de l'expérience				
5.	Créativité	Se contente de répéter, copier, appliquer.	Peut émettre une hypothèse.	Peut émettre plusieurs hypothèses.	Discute de la pertinence des hypothèses. Imagine des relations nouvelles entre els choses.
	- lors de l'émission d'hypothèses				
	- lors de la conception de l'expérience				
	- lors du traitement des résultats				
6.	Pensée critique	Considère comme vrai ce qui est dit ou écrit. N'évalue pas la qualité des productions.	Commence à douter. Critique les autres sur la présentation plutôt que sur le contenu.	Se pose des questions sur le travail des autres. Sait argumenter.	Remet en cause des idées communes. Sait critiquer son travail et celui des autres. Accepte la critique.
	- lors de la présentation de la problématique				
	- lors de l'émission d'hypothèses				
	- lors du traitement des résultats				
	- lors de la présentation des résultats				
7.	Ouverture à l'environnement	N'a pas de respect du	Accepte de respecter les	Respecte les camarades	Respecte les camarades

		monde qui l'entoure	camarades et le matériel.	et le matériel, sans que cela lui soit demandé.	et le matériel et s'engage au maintien de ce respect. A le souci d'un environnement de travail agréable.
	- par rapport au matériel				
	- par rapport aux camarades avec qui il travaille				

Tableau 9 : grille d'évaluation d'une démarche scientifique 2 (type complexe, niveau élevé)
Les niveaux se réfèrent aux niveaux d'acquisition de compétences proposés par G. De Vecchi (voir annexe X) et adaptés ici.

Pour chiffrer, on peut attribuer le nombre de points par niveau (0 pour niveau 0, 1 pour niveau 1,…), puis de pondérer ou non par compétence.
Mais cette grille est inutilisable ! Il est illusoire de vouloir la remplir au cours d'une seule expérience de type TP ! Nous pouvons l'envisager au cours d'une démarche réelle qui dure plusieurs jours… Mais nous pouvons aussi envisager de ne traiter que quelques items par expérience, choisis en adéquation avec l'expérience réalisée, et compiler les résultats pour obtenir une évaluation des compétences de l'élève en démarche scientifique. Il est évident que les compétences de l'élève sont différentes si la problématique lui est plus ou moins familière ou s'il y est plus ou moins impliqué. Une évaluation sur plusieurs démarches a l'avantage de réduire ce facteur.

15. Conclusion

« Quand on est hors du cercle de l'expérience, on est certain de ne pas être contredit par elle. »
Emmanuel Kant
Critique de la raison pure, 1781.

Le projet d'apprendre une démarche scientifique est ambitieux : il prend du temps, il demande de la préparation et de l'improvisation, il met l'enseignant dans une position qui peut être inconfortable… Il peut cependant être avantageusement « découpé » pour approfondir tel ou tel élément : le mode de restitution, le travail dans le groupe, la gestion du cahier de laboratoire, l'habileté manipulatoire,…
En effet, comme le dit Cariou : *« L'annonce « On va faire des expériences ! » remporte toujours un franc-succès ! […] Obtenir « Il faudrait faire telle expérience » est d'une toute autre envergure ! »*[12]
Mais le travail porte ses fruits et la plus belle réussite sera l'hésitation d'un élève face à une assertion douteuse lue dans un quelconque magazine : « C'est intéressant, mais… »
L'enseignant peut alors choisir de former des élèves qui réfléchissent sur le monde qui les entoure ou des élèves qui acceptent sans réserve les faits qu'on choisit de leur exhiber. Quels citoyens voulons-nous pour demain ?
A nous de former les drôles d'oiseaux que sont les élèves, en choisissant entre un mode d'éducation nidicole, où les oisillons sécurisés attendent la becquée qu'ils n'ont plus qu'à avaler, ou nidifuge, où ils courent chercher leur nourriture quitte à se casser le bec de temps en temps…





©Sainto

Figure 28 : Le caneton prêt pour de nouvelles aventures (©Malika) ou la mésange qui attend au nid (©Sainto) ?

12 Cariou J.-Y., 2007, *Un projet pour faire vivre des démarches expérimentales*, Delagrave.

Annexe 1 :

Balises de la démarche scientifique pour l'élève



Comment puis-je savoir pourquoi… ?
Comment puis-je savoir comment… ?
Comment expliquer que… ?
La question que je me pose est… ?



Je pense que…
Mais je vais devoir le prouver !



Pour réaliser l'expérience qui me permettra de dire que mon hypothèse est vraie, je vais devoir faire…



Lorsque je fais ceci, je vois (je mesure) cela…



J'obtiens (j'observe, je mesure) ceci, or je sais que cela veut dire que…



J'obtiens ceci, or je pensais obtenir ceci (cela), donc mon hypothèse…

Annexe 2 :

Textes de chercheurs

William Harvey et la circulation (1628)

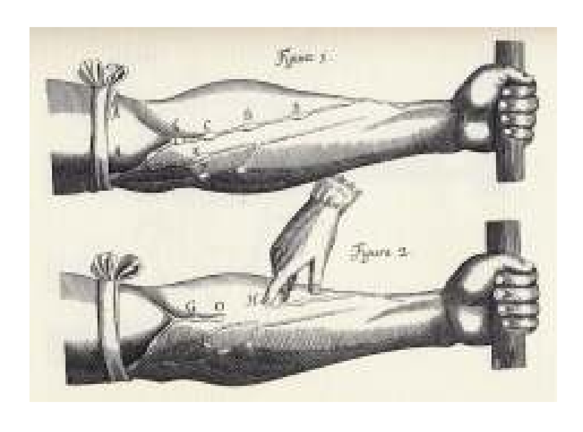
[Hypothèses]

- Le sang, poussé par la contraction du cœur, passe continuellement de la veine cave dans les artères, en si grande quantité que les aliments ne pourraient y suffire, et la totalité du sang suit ce passage en un temps très court.
- Le sang, poussé par les pulsations artérielles, pénètre continuellement dans chaque membre et chaque partie du corps, et il en entre ainsi bien plus que la nutrition du corps ne l'exige, et bien trop pour que la masse du sang y puisse suffire.
- Les veines ramènent constamment le sang de chaque membre dans le cœur.»

[Expériences]

- Le cœur en une demi-heure a plus de mille contractions; chez quelques personnes même, il en a deux mille, trois mille et même quatre mille. En multipliant par drachmes [1 drachme = 3,24 grammes], on voit qu'en une demi-heure il passe par le cœur dans les artères trois mille drachmes, ou deux mille drachmes, ou cinq cents onces; enfin une quantité de sang beaucoup plus considérable que celle que l'on pourrait trouver dans tout le corps. [...] D'ailleurs ne prenons ni une demi-heure, ni une heure, mais un jour : il est clair que le cœur par sa systole transmet plus de sang aux artères que les aliments ne pourraient en donner, plus que les veines n'en pourraient contenir.
- Comptez ce qui passe d'onces de sang dans un seul bras, au dessous d'une ligature, pendant vingt ou trente pulsations, et vous pourrez vous faire une idée de ce qui doit passer par l'autre bras, par les deux veines, de chaque côté du cou, et dans toutes les veines du corps.

- Expérience du garrot
  La compression du bras par un garrot peu serré en A fait ressortir les veines de l'avant-bras et entraîne le gonflement des valvules B, C et D en aval du garrot, au niveau de l'avant-bras. (figure 1)
  La pression du doigt sur la veine dilatée en H force le sang à évacuer la veine entre le point où l'on appuie et la valvule suivante située en direction du cœur.



[Conclusion, chap XIV]

- Il nous est enfin permis de formuler ouvertement notre conception de la circulation du sang. Raisonnement et expérimentation ont établi que le sang traverse le poumon et le cœur : que par celui-ci il est envoyé à tout l'organisme, qu'il passe dans les porosités des tissus et des veines, qu'il revient par celles-ci des extrémités vers le centre pour aboutir finalement à l'oreillette droite du cœur. […]
- Tels sont les organes et le tracé du transit du sang et de son circuit : d'abord de l'oreillette droite au ventricule, du ventricule à travers les poumons jusqu'à l'oreillette gauche et, de là, dans le ventricule gauche, dans l'aorte et dans toutes les artères s'éloignant du cœur, puis dans les porosités des organes, dans les veines et, par les veines, vers la base du cœur où le sang revient rapidement. Il revenait ensuite par les veines vers la veine cave et retournait au ventricule droit, ainsi qu'il était envoyé de là vers les poumons via l'artère pulmonaire. Finalement, le sang revenait des poumons vers le ventricule gauche par l'intermédiaire des veines pulmonaires, comme décrit précédemment. [...] Il ressort manifestement que le sang passe uniquement par les poumons et nullement par les cloisons du cœur, mais seulement quand les poumons fonctionnent en respiration et ne sont pas collabés ou arrêtés. […]
- Chez les animaux le sang est animé d'un mouvement circulaire qui l'emporte dans une agitation perpétuelle, et que c'est là le rôle, c'est là la fonction du cœur, dont la contraction est la cause unique de tous ces mouvements.

Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus
William Harvey
1628

René de Réaumur et la digestion (1752)

Une buse, à qui j'avais seulement arraché quelques plumes des ailes pour la laisser vivre en liberté dans mon jardin, fut destinée à des expériences.
Je plaçai dans un tube de fer blanc ouvert par les deux bouts, un morceau de viande. Le tube ainsi garni fut donné à la buse pour son premier déjeuner.
Ce ne fut que le lendemain que je trouvai le tube qu'elle venait de rendre : il avait toute sa rondeur ; on ne trouvait sur sa surface extérieure aucune trace de frottements.
Le morceau de viande avait été réduit peut-être au quart de son premier volume ; ce qui en restait était couvert par une espèce de bouillie, venue probablement des parties qui avaient été dissoutes. »

Observations sur la digestion des oiseaux
René Antoine Ferchault de Réaumur
1752

Lazzaro Spallanzani et la digestion (1787)

J'en fis entrer dans un tube en verre […] ; je mis avec ce suc quelques brins de chair […]. Je le plaçai dans un fourneau où l'on éprouvait un peu près la chaleur de mon estomac ; j'y mis aussi un tube semblable avec une égale quantité de chair […], mais je le remplis avec une quantité d'eau qui était la même que celle du suc gastrique pour me servir de terme de comparaison […].
Voici les événements que j'observai. La chair qui était dans le suc gastrique commença à de défaire avant 12 heures, et elle continua insensiblement jusqu'à ce que, au bout de 35 heures, elle ait perdu toute consistance […]. Il n'en fut pas de même dans le petit tube où j'avais mis de l'eau […] : la plus grande partie des fibres charnues plongées dans l'eau étaient encore entières au bout du 3ème jour.

Lazzaro Spallanzani
1787

Claude Bernard et les lapins à jeun

On apporta un jour dans mon laboratoire des lapins venant du marché. On les plaça sur une table, où ils urinèrent, et j'observai par hasard que leur urine était claire et acide. Ce fait me frappa parce que les lapins ont ordinairement l'urine trouble et alcaline, en leur qualité d'herbivores, tandis que les carnivores, ainsi qu'on le sait, ont, au contraire, les urines claires et acides. Cette observation d'acidité de l'urine chez les lapins me fit venir la pensée que ces animaux devaient être dans la condition alimentaire des carnivores. Je supposai qu'ils n'avaient probablement pas mangé depuis longtemps et qu'ils se trouvaient ainsi transformés par l'abstinence en véritables animaux carnivores, vivant de leur propre sang. Rien n'était plus facile que de vérifier par l'expérience cette idée préconçue ou cette hypothèse. Je donnai à manger de l'herbe aux lapins, et quelques heures après leurs urines étaient devenues troubles et alcalines. On soumit ensuite les mêmes lapins à l'abstinence, et après vingt-quatre ou trente-six heures au plus, leurs urines étaient redevenues claires et fortement acides ; puis elles devenaient de nouveau alcalines en leur donnant de l'herbe, etc. Je répétai cette expérience si simple un grand nombre de fois sur les lapins, et toujours avec les mêmes résultats. Je la répétai ensuite chez le cheval, animal herbivore qui a également l'urine trouble et alcaline. Je trouvai que l'abstinence produit, comme chez le lapin, une prompte acidité de l'urine, avec un accroissement relativement très considérable de l'urée, au point qu'elle cristallise parfois spontanément dans l'urine refroidie. J'arrivai ainsi, à la suite de mes expériences, à cette proposition générale qui alors n'était pas connue, à savoir qu'à jeun tous les animaux se nourrissent de viande, de sorte que les herbivores ont alors des urines semblables à celles des carnivores.

Il s'agit ici d'un fait particulier bien simple qui permet de suivre facilement l'évolution du raisonnement expérimental. Quand on voit un phénomène qu'on n'a pas l'habitude de voir, il faut toujours se demander à quoi il peut tenir, ou, autrement dit, quelle en est la cause prochaine; alors il se présente à l'esprit une réponse ou une idée qu'il s'agit de soumettre à l'expérience. En voyant l'urine acide chez les lapins, je me suis demandé instinctivement quelle pouvait en être la cause. L'idée expérimentale a consisté dans le rapprochement que mon esprit a fait spontanément entre l'acidité de l'urine chez le lapin et l'état d'abstinence, que je considérai comme une vraie alimentation de carnassier. Le raisonnement inductif que j'ai fait implicitement est le syllogisme suivant : les urines des carnivores sont acides ; or les lapins que j'ai sous les yeux ont les urines acides ; donc ils sont carnivores, c'est-à-dire à jeun. C'est ce qu'il fallait établir par l'expérience.

Mais pour prouver que mes lapins à jeun étaient bien des carnivores, il y avait une contre-épreuve à faire. Il fallait réaliser expérimentalement un lapin carnivore en le nourrissant avec de la viande, afin de voir si ses urines seraient alors claires, acides et relativement chargées d'urée comme pendant l'abstinence. C'est pourquoi je fis nourrir des lapins avec du bœuf bouilli froid (nourriture qu'ils mangent très bien quand on ne leur donne pas autre chose). Ma prévision fut encore vérifiée, et pendant toute la durée de cette alimentation animale, les lapins gardèrent des urines claires et acides.

Pour achever mon expérience, je voulus en outre voir par l'autopsie de mes animaux si la digestion de la viande s'opérait chez le lapin comme chez un carnivore. Je trouvai, en effet, tous les phénomènes d'une très bonne digestion dans les réactions intestinales, et je constatai que tous les vaisseaux chylifères étaient gorgés d'une chyle très abondant, blanc, laiteux, comme chez les carnivores.

Introduction à la médecine expérimentale.
Claude Bernard
1865

Wilhelm Röntgen et les rayons X (1895)
Premier Prix Nobel de physique en 1901

W. C. Röntgen : Une nouvelle sorte de rayonnements

1.Si la décharge d'une bobine d'induction de bonne taille est effectuée dans un tube à vide de Hittorf ou un tube de Lenard ou un tube de Crookes ou similaire dans lequel règne un vide suffisant, le tube étant recouvert d'un carton fin de couleur noire réalisant une étanchéité acceptable et si le tube est placé dans une pièce totalement sombre, on observe à chaque décharge une illumination brillante d'un écran de papier recouvert de platino-cyanide de baryum, placé au voisinage de la bobine d'induction, la fluorescence ainsi produite étant indépendante du fait que la surface enduite du papier ou son autre face est dirigée vers le tube à décharge. Cette fluorescence est visible même si l'écran de papier est distant de deux mètres de l'appareil. Il est aisé de prouver que la cause de la fluorescence est liée à l'appareil de décharge et non à un point quelconque du circuit conducteur.

2. La propriété la plus étonnante de ce phénomène est le fait qu'un agent actif passe dans cette expérience au travers d'une enveloppe de carton noir, qui est opaque au rayonnement visible et ultraviolet du soleil ou de l'arc électrique; un agent qui a également la possibilité de produire une fluorescence active. Nous allons d'abord chercher si d'autres corps possèdent cette propriété. Nous avons vite découvert que tous les corps sont transparents à cet agent, bien qu'à différents degrés. Je vais en donner quelques exemples: le papier est très transparent[1] ; derrière un livre relié d'environ 1000 pages j'observe un écran fluorescent brillant, l'encre d'imprimerie ne causant qu'une atténuation à peine visible. De la même façon, la fluorescence apparut derrière un double paquet de cartes, une carte unique placée entre l'appareil et l'écran donnant une atténuation invisible à l'œil. Un feuillet simple d'étain est presque indétectable ; ce n'est qu'en empilant plusieurs feuillets que leur ombre est visible distinctement sur l'écran. Des blocs de bois épais sont transparents, des planches de pin de deux ou trois centimètres d'épaisseur absorbant très peu. Une plaque d'aluminium de quinze millimètres d'épaisseur, bien qu'affaiblissant sérieusement l'action, ne fit pas disparaître totalement la fluorescence; Des feuilles de caoutchouc épais de plusieurs centimètres permettent le passage des rayons[1]. Des plaques de verre, d'épaisseurs égales, se comportent tout à fait différemment, selon qu'elles contiennent du plomb (flint) ou non. Les premières sont beaucoup moins transparentes que les secondes. Si la main est interposée entre le tube à décharge et l'écran, l'ombre plus sombre des os est vue dans l'ombre légèrement marquée de la main elle-même. L'eau, le carbone, le bisulfite, et divers autres liquides, quand ils sont examinés dans des récipients en mica semblent aussi transparents. Je n'ai pas pu déterminer si l'hydrogène est plus transparent que l'air. Derrière des plaques de cuivre, argent, plomb, or et platine, la fluorescence peut être reconnue, mais seulement si l'épaisseur des plaques n'est pas trop grande. Une plaque de platine d'épaisseur 0,2 millimètre est encore transparente ; l'argent et le cuivre pouvant même être plus épais. Le plomb, avec une épaisseur de 1,5 millimètre, est pratiquement opaque et compte tenu de cette propriété ce métal est souvent très utile. Un barreau de bois avec une section carrée de 20x20 mm dont un côté est peint avec une peinture blanche au plomb se comporte différemment selon la façon dont il est disposé entre l'appareil est l'écran. Il n'a, pratiquement, aucune action lorsque le faisceau de rayons X le traverse parallèlement à la face peinte; alors que le barreau projette une ombre sombre lorsque les rayons traversent perpendiculairement la face peinte. Dans une série similaire à des métaux eux-mêmes, les sels de ces métaux peuvent être classés par rapport à leur transparence, qu'ils soient sous forme solide ou en solution

1 Par 'transparence' d'un corps je note la brillance relative d'un écran fluorescent placé près du corps, comparée à la brillance que l'écran démontre dans les mêmes circonstances sans l'interposition du corps testé.

Voir aussi : http://www.universcience.tv/media/1179/La+main+de+Mme+Röntgen.html
Sur une nouvelle sorte de rayons

Wilhelm Röntgen
1895

» Ce fait s'étend à divers corps phosphorescents et, en particulier, aux sels d'urane dont la phosphorescence a une très courte durée.

» Avec le sulfate double d'uranium et de potassium, dont je possède des cristaux formant une croûte mince et transparente, j'ai pu faire l'expérience suivante :

» On enveloppe une plaque photographique Lumière, au gélatino-bromure, avec deux feuilles de papier noir très épais, tel que la plaque ne se voile pas par une exposition au Soleil, durant une journée.

» On pose sur la feuille de papier, à l'extérieur, une plaque de la substance phosphorescente, et l'on expose le tout au Soleil, pendant plusieurs heures. Lorsqu'on développe ensuite la plaque photographique, on reconnaît que la silhouette de la substance phosphorescente apparaît en noir sur le cliché. Si l'on interpose entre la substance phosphorescente et le papier une pièce de monnaie, ou un écran métallique percé d'un dessin à jour, on voit l'image de ces objets apparaître sur le cliché.

» On peut répéter les mêmes expériences en interposant entre la substance phosphorescente et le papier une mince lame de verre, ce qui exclut la possibilité d'une action chimique due à des vapeurs qui pourraient émaner de la substance échauffée par les rayons solaires.

» On doit donc conclure de ces expériences que la substance phosphorescente en question émet des radiations qui traversent le papier opaque à la lumière et réduisent les sels d'argent. »

Sur les radiations émises par phosphorescence
Compte-rendu de l'Académie des sciences
Henri Becquerel
1896

Voir aussi :
http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/fr/jeunes/animation/LaDemarche/anim.html

Annexe 3 :

Comment le savon repousse la saleté

But : découvrir l'action d'un détergent pour l'élimination de la saleté.

Matériel : un bol d'eau
du poivre moulu
une goutte de savon liquide

Méthode : saupoudre du poivre sur l'eau de façon à en répartir sur toute la surface. Dépose une goutte de savon liquide au centre de la surface d'eau. Observe.

Information : Le savon est le seul détergent naturel. Un détergent est une molécule en forme de chaîne allongée, avec une tête hydrophile qui peut se lier à l'eau et une queue hydrophobe qui ne peut pas se lier à l'eau. Cette chaîne est formée d'huile et de soude (la partie hydrophile). Les micelles ainsi formées creusent des « trous » dans la membrane de surface de l'eau. Ce « trou » dans une membrane tendue se répand très rapidement vers les bords, entraînant les tâches, la saleté ou le poivre vers le bord. Voici comment le savon capte la saleté ! Pour plus d'explications et d'activités sur la chimie et le lavage, voir : http://www.acnancymetz.fr/enseign/physique/Nouvprog/prem_L/docs/chim_cuisine/Chimie&lavage-CH.pdf

In : Petites expériences 2CO, Adeline Bardou, 2008

Annexe 4 :

Un jus de pomme malade

But : découvrir la présence d'agents pathogènes dans l'air, sur la peau et comment les éliminer.

Matériel : du jus de pomme
eau
un réchaud
savon
un récipient pour le réchaud
alcool
14 gobelets plastique
antiseptique (Merfen,…)
du papier essuie-tout
du cellophane
un stylo pour le plastique

Méthode : bouillir le jus de pomme le jour même ou la veille et stocker dans une bouteille fermée. Il doit être refroidi pour effectuer les expériences.
Etape 1 : y a-t-il des microbes dans l'air ?
Témoin : placer du jus de pomme bouilli dans un gobelet marqué témoin et le fermer avec de la cellophane.
Expérience : placer du jus de pomme bouilli dans un gobelet marqué air et le laisser ouvert.
Etape 2 : y a-t-il des microbes sur nos mains ?
Expérience : placer du jus de pomme bouilli dans un gobelet marqué mains, se laver les mains dedans puis le fermer avec de la cellophane.
Etape 3 : quel produit permet d'éliminer les microbes présents à la surface de la peau ?
Témoin : placer du jus de pomme bouilli dans deux gobelets marqués témoin lavage 1 et témoin lavage 2. Tremper les mains dans témoin lavage 1. Sans les essuyer, tremper les mains dans témoin lavage 2, puis fermer les deux gobelets avec de la cellophane.
Expérience : placer du jus de pomme dans des paires de gobelets marqués témoin produit et produit (ex : témoin savon et savon). Tremper les mains dans le gobelet témoin produit. Sans les essuyer, se laver soigneusement les mains avec le produit choisi et tremper les mains dans le gobelet produit. Fermer les gobelets avec de la cellophane.
Laisser tous les gobelets à température ambiante et attendre une semaine pour observer les résultats.

Information : le jus de pomme est utilisé dans ces expériences car il est translucide et donc pratique pour observer un développement microbien par l'opacité du mélange. Il est de plus facile à stériliser en le faisant bouillir.
L'intérêt de cette expérience réside dans le fait de découvrir la présence de microbes dans l'air, sur la peau et d'évaluer quels produits permettent d'enlever ces microbes. Des différences dans les résultats des expériences de l'étape 3 montrent que le lavage peut être plus ou moins efficace !
Cependant, l'autre aspect intéressant se trouve dans l'utilisation des témoins. Le gobelet témoin devrait montrer que les microbes ne sont pas dans le jus de pomme mais proviennent bien de l'air ou de la peau. Dans les expériences de lavage, le système de double témoin permet de vérifier qu'il y a bien des microbes sur les mains des élèves avant le lavage des mains (gobelets témoin produit) et que le fait de tremper les mains dans le jus de pomme n'enlève pas les microbes des mains (gobelet témoin lavage 2).

In : Petites expériences 2CO, Adeline Bardou, 2008

Annexe 5 :

Niveaux d'acquisition des compétences

G. De Vecchi, Enseigner l'expérimental en classe, Hachette, 2006.

✓ Curiosité

C'est la possibilité de s'étonner, de se poser des questions, d'avoir envie de connaître.

Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Actions du maître
Reste inactif, ne s'intéresse pas. Cela ne signifie pas qu'il est incapable de curiosité mais qu'il ne la manifeste pas dans les conditions proposées.	Regarde superficiellement, peut même proposer, toucher, manipuler mais ponctuellement, sans fil conducteur ni finalité réelle.	Fait ponctuellement preuve de curiosité, d'étonnement, pose des questions factuelles parfois décalées du sujet abordé.	Est capable de s'étonner, pose des questions précises en rapport direct avec le sujet. Sa curiosité débouche sur des activités de recherche.	Apporte des situations de rupture (situations-problèmes), induit la confrontation et la critique.

✓ Créativité

C'est la capacité d'émettre des hypothèses pertinentes (ce qui ne veut pas dire justes), d'inventer des moyens pour trouver des réponses par ses propres moyens, mais aussi d'argumenter.

Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Actions du maître
Se contente de répéter, de copier, d'appliquer.	Imagine et crée par mise en relation de deux éléments proches.	Crée par mise en relation d'éléments connus mais distincts. Peut émettre plusieurs hypothèses.	Imagine des relations multiples et nouvelles entre les choses. Est capable de discuter sur la pertinence de ses hypothèses.	Incite à l'émission d'hypothèses, à l'invention et à la réalisation d'expériences, stimule et valorise la recherche d'explications et l'argumentation.

✓ Confiance en soi, envie de rechercher

C'est l'élan qui, face à des questions que l'on se pose, donne envie de trouver les réponses sans simplement les demander et sans avoir peur de s'engager, sans se décourager.

Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Actions du maître
Passif, en attente que tout vienne du maître ou des autres élèves.	Entre dans une recherche si on lui demande, si on l'encourage, si on le guide pas à pas.	Recherche par lui-même (ou au sein d'un petit groupe) et s'arrête vite en cas d'échec si on ne l'encourage pas vivement.	Mène une recherche par lui-même (ou en petit groupe), envisage plusieurs possibilités d'investigation et dépasse les échecs relatifs.	Permet aux élèves de mener leurs propres recherches en suivant, au moins en partie, leurs propres démarches.

✓ Ouverture aux autres, travail de groupe, communication

C'est la capacité de prendre en compte les autres, aussi bien à l'occasion d'un travail commun que dans l'écoute.

Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Actions du maître
Reste isolé, même au sein d'un petit groupe, ne coopère pas, ne participe que quand cela lui est imposé.	Coopère avec les autres uniquement quand il en a besoin. Présente son travail sans véritablement chercher à se faire comprendre.	Capable de coopérer temporairement sans s'impliquer dans le travail d'une manière globale. A le désir de communiquer aux autres mais en maîtrise encore mal les techniques.	S'implique totalement dans un travail collectif. Peut jouer le rôle de « leader positif » (qui propose, incite, aide à l'organisation... sans imposer). Sait communiquer aux autres d'une manière claire et construite.	Permet aux élèves de travailler en petits groupes, leur laisse une certaine autonomie et s'intéresse à la régulation des relations. Donne de l'importance à la présentation des travaux réalisés.

✓ Ouverture à l'environnement

C'est l'envie et la possibilité de s'intéresser au monde extérieur en mettant en relation ce qui est fait en classe et les problèmes qui se posent dans notre milieu de vie.

Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Actions du maître
Ne se pose pas le problème du respect de ce qui l'entoure. Ne manifeste aucun intérêt pour les problèmes du monde extérieur.	Accepte de respecter êtres vivants et matériel lorsqu'on lui demande.	Accepte de prendre soin des êtres vivants et respecte le matériel qui lui est confié sans que cela soit vécu comme une obligation qui lui est imposée.	A le souci constant de respecter le matériel et les êtres vivants sur lesquels il travaille. Éprouve le besoin de vivre dans un environnement agréable et participe à sa valorisation. S'intéresse aux problèmes du monde et parfois les met en relation avec ce qui est fait en classe.	Propose de travailler sur des élevages, cultures que les élèves prennent en charge et sur du matériel technique qu'ils doivent respecter. Fait le plus souvent possible des relations entre ce qui a été étudié en classe et l'environnement extérieur.

✓ Pensée critique[1]

C'est la possibilité d'analyser d'une manière constructive les réalisations des autres mais aussi son propre travail et le monde qui nous entoure.

Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Actions du maître
Considère comme vrai tout ce qu'on lui dit, ce qu'il lit. Ne se pose pas de questions sur la qualité des productions.	Commence à se poser des questions, à douter. Critique plus facilement les autres sur la présentation que sur le contenu. Les remarques aux autres élèves peuvent être entachées d'un jugement négatif.	Se pose des questions sur le travail des autres. Sait argumenter.	Capable de remettre en cause certaines idées appartenant au sens commun. Peut analyser aussi bien son travail que celui des autres d'une manière argumentée. Accepte de se soumettre à la critique d'autrui, la vit positivement et en tient compte.	Incite les élèves à s'exprimer sur leur propre travail et sur celui des autres, sans jugement de valeur, afin que les remarques permettent de progresser.

DES NIVEAUX DE CONSTRUCTION DE LA PENSÉE CRITIQUE

Niveau 0

• Incapable d'une quelconque remise en cause.

• Recopie des éléments illogiques ou fait des erreurs en recopiant, sans que cela le gêne ou soit considéré comme aberrant.

• N'éprouve pas le besoin de remettre en cause une quelconque affirmation (« C'est vrai parce que le maître l'a dit » ou « parce que je l'ai lu dans un livre »).

• Ne fait pas de rapprochement entre ce qu'il lit ou entend, et ce qu'il connaît ou croit connaître, même si c'est divergent.

La pensée critique est inexistante.

Niveau 1

• Critique sans avancer d'arguments et ne ressent pas la nécessité d'en formuler, même s'il en perçoit.

• Limite sa critique au travail des autres élèves.

• Face à la présentation d'un travail, critique plus la forme et la manière de présenter que le contenu.

La critique peut être ponctuelle ou, au contraire, systématique sans que cela soit adapté ou utile.

Niveau 2

• Commence à se poser des questions quand ce qui est présenté ou quand les résultats obtenus ne sont pas conformes à ses conceptions ou aux résultats escomptés. Essaie de chercher à comprendre.

Apparition de la critique argumentée.

Niveau 3

• La critique s'étend à l'ensemble de ce qui l'entoure (livres, télévision...).

• Accepte plus difficilement qu'une affirmation ne soit pas argumentée.

• Accepte la critique de son travail personnel, quand il le présente, sans que cela soit vécu comme un reproche.

L'esprit critique s'installe.

Niveau 4

• Fait preuve d'autocritique et remet en cause certaines de ses idées préconçues.

• Considère la critique, même négative, non comme un jugement de valeur mais comme une action constructive.

• Fais une place au doute méthodique (pense que l'on peut se tromper, que l'erreur peut être positive et envisage les conséquences de ses erreurs et de ses réussites).

• Cherche à approfondir, à trouver des éléments qui valident une opinion, un choix.

NB G. De Vecchi propose deux versions pour évaluer l'acquisition de la pensée critique. A vous de choisir celui qui vous convient le mieux.

Annexe 6 :
Grilles d'évaluation de démarches scientifiques

Tous les liquides contiennent-ils de l'eau ? – 5ème
Fiche n°4 : Grille d'évaluation durant la séance destinée au professeur

Barème		Numéro du binôme			
		Noms Prénoms			
	Compétences 1 liées à l'expérimentation évaluées par le professeur				
0,5	Elaborer un protocole	Proposer une expérience			
1		Décrire une expérience			
0,5		Utiliser un vocabulaire scientifique			
0,5		Nommer le matériel			
2	Schéma de l'expérience avec sa légende				
0,5	Respecter les consignes de sécurité : Porter des lunettes				
1,5	Réaliser le tableau				
0,5	Formuler des hypothèses				
	Appel n°1				
	Compétences 3 : Capacités expérimentales suivantes évaluées par les élèves				
0,5	Respect de la consigne de sécurité				
0,5	Reconnaître le produit solide à prendre				
0,5	Reconnaître une spatule et l'utiliser				
0,5	Prélèvement d'une petite quantité de solide avec une spatule				
0,5	Déposer ce produit solide dans une coupelle				
0,5	Organisation des solides dans la coupelle				
0,5	Prélever avec un compte-gouttes sec un liquide				
0,5	Verser une goutte du liquide à tester sur le solide				
	Compétences 3 : Capacités et Attitudes suivantes évaluées par le professeur				
0,5	Présence de témoins				
0,5	Respect de la sécurité d'autrui				
0,5	Respect du matériel				
0,5	Propreté du travail				
0,5	Séparation de la zone de manipulation de la zone d'écriture				
0,5	Respect des consignes (exemple : prendre 2 liquides au maximum)				
- 2	**Compétences 4 : *Pénalités si entraide***				
	Appel n° 2				
	Compétences 3 : Attitudes suivantes évaluées par le professeur				
0,5	Ranger le matériel et nettoyer la paillasse				
	Compétences liées à l'expérimentation évaluées par le professeur				
0,5	**Compétences 4 :** S'organiser dans le temps				
1,5	**Compétences 1 :** Observations notées dans le tableau				
1,5	**Compétences 2 :** Conclusions notées dans le tableau				
2	**Compétences 2 :** Rédaction d'une conclusion générale				
	TOTAL :				

Mesures d'intensité de courant

A REMPLIR EN FIN DE TP	Elève	Prof
Respect des règles de sécurité	A P D N	A P D N
Organisation de la paillasse	A P D N	A P D N
Demande du matériel faite	A P D N	A P D N
Prise du matériel en autonomie une fois vérification de la liste par le professeur (j'ai pris tout le matériel nécessaire et je n'ai pas pris de matériel inutile).	A P D N	A P D N
Utilisation d'une pince en bois lors des manipulations	A P D N	A P D N
Réalisation des tests (préciser le but du test) :		
- Test 1 : ……………………………………………………………………………….	A P D N	A P D N
- Test 2 : ……………………………………………………………………………….	A P D N	A P D N
- Test 3 : ……………………………………………………………………………….	A P D N	A P D N
Participation active au travail au sein de mon groupe	A P D N	A P D N
J'ai attendu dans le calme la vérification du professeur	A P D N	A P D N
Paillasse rangée et propre en fin de TP	A P D N	A P D N
Rédaction d'un compte-rendu de TP	A P D N	A P D N

A compléter après avoir réalisé le travail demandé	Elève	Prof
Organisation de la paillasse	A P D N	A P D N
Prise du matériel en autonomie (j'ai pris tout le matériel nécessaire et je n'ai pas pris de matériel inutile).	A P D N	A P D N
Le circuit réalisé correspond à celui schématisé sur le cahier	A P D N	A P D N
La place de l'ampèremètre dans le circuit correspond à celle du schéma	A P D N	A P D N
Les bornes utilisées correspondent à celle d'un ampèremètre	A P D N	A P D N
La polarité des bornes de l'ampèremètre est respectée	A P D N	A P D N
Le sélecteur est placé dans la zone adaptée	A P D N	A P D N
J'ai suivi les consignes	A P D N	A P D N

2ème partie : **Appeler le professeur et attendre sa vérification avant de continuer**

Devant le professeur, mettre en marche le générateur et effectuer la mesure.

A compléter une fois la mesure réalisée	Elève	Prof
Le calibre choisi est adapté	A P D N	A P D N
Notez le résultat de la mesure : ………………………………………………………	A P D N	A P D N
J'ai effectué seul la prise de mesure (sans l'aide de mon binôme)	A P D N	A P D N
J'ai attendu dans le calme la vérification du professeur	A P D N	A P D N
Paillasse rangée en fin de TP	A P D N	A P D N

Annexe 7 :

Les résultats négatifs

Bien que peu publiés, ils font aujourd'hui l'objet de publications spécifiques :

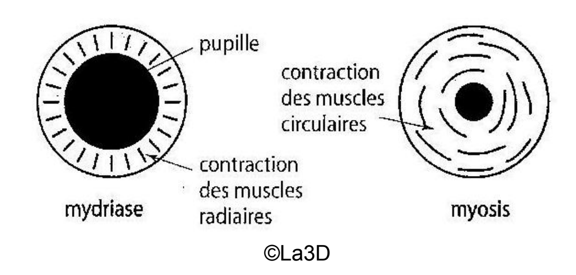


JOURNAL OF NEGATIVE RESULTS

- ECOLOGY & EVOLUTIONARY BIOLOGY -

Annexe 8 :

Le mécanisme de contraction de la pupille



Ligne de Schwalbe
Lame limitante postérieure (membrane de Descemet)
Trabécules et espaces de l'angle irido-cornéen (de Fontana)
Endothélium cornéen (épithélium de la chambre postérieure)
Sinus veineux de la sclère (canal de Schlemm)
Cornée
Crête sclérale
Angle irido-cornéen
Ligament pectiné
Grand cercle artériel de l'iris
Veine ciliaire antérieure
Conjonctive bulbaire
Sclère
Chambre antérieure
Plis de l'iris
Petit cercle artériel de l'iris
Cristallin
Chambre postérieure
Procès ciliaires
Partie ciliaire de la rétine
Fibres méridiennes
Fibres circulaires
Muscle ciliaire
Corps ciliaire
Muscle dilatateur de la pupille
Fibres zonulaires (ligament suspenseur du cristallin)
Épithélium pigmenté (partie iridienne de la rétine)
Noyau du cristallin
Capsule du cristallin
Espace périchoroïdien
Muscle sphincter de la pupille

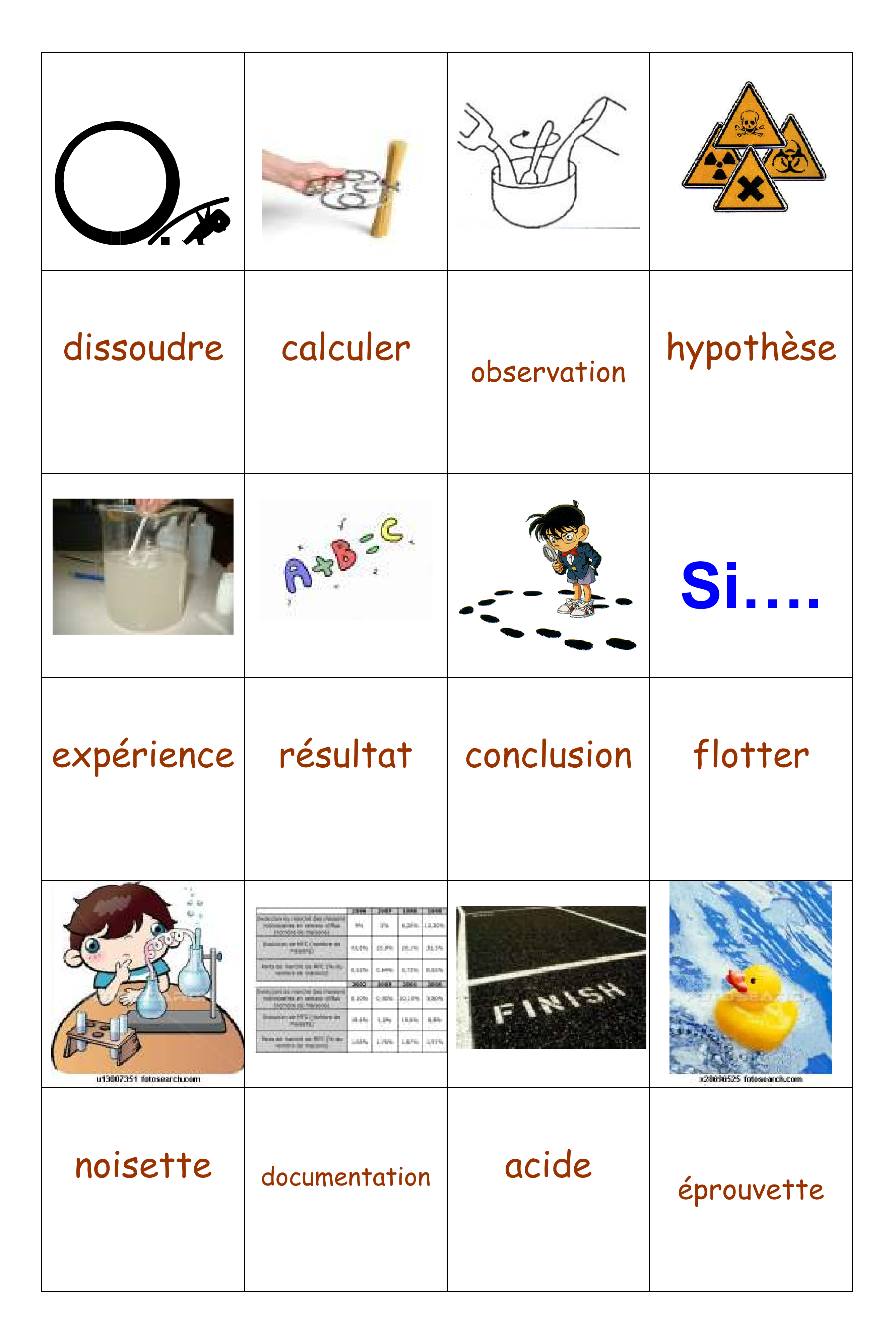
= muscle radiaire
Sa contraction provoque la mydriase (dilatation)

Note : par souci de clarté, il est représenté un seul ...
en fait, ces fibres entourent complètement l'équat...

= muscle ciliaire
Sa contraction provoque la myosis (contraction)

Annexe 9 : Mémory « La démarche scientifique »

un scientifique	bécher	erlenmeyer	bec Bunsen
thermomètre	chronomètre	pipette	balance
problème	mesurer	mélanger	danger


dissoudre
calculer
observation
hypothèse
Si….
expérience
résultat
conclusion
flotter
FINISH
noisette
documentation
acide
éprouvette

		pH > 7	
schéma	question	laboratoire	blouse
lunettes	basique	cylindre	Professeur Tournesol
	pH > 7		
Albert Einstein	Marie Curie	Nicolas Copernic	Charles Darwin


Galilée
Archimède
Isaac Newton
Louis Pasteur
Pythagore
Alessandro Volta
Blaise Pascal
André Ampère

collaboration	microscope	équipe	poster